

620  
MS

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA - ENERGÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“DISEÑO DE UN MOLINO DE CUCHILLAS  
DE 300 KG/H PARA LA MOLIENDA DE  
PLÁSTICOS SÓLIDOS HDPE. GRUPO  
DIMARSA SAC.-PUENTE PIEDRA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**JOSÉ LUIS MILLONES HERNÁNDEZ**

**Callao, Agosto, 2014**

**PERÚ**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA - ENERGÍA**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

En el Auditorio "AUSBERTO ROJAS SALDAÑA", sito en la Av. Juan Pablo II N° 306 del distrito de Bellavista-Callao, siendo las 5:20:00 PM horas del día viernes 19 de setiembre del 2014, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador del I Ciclo de Tesis (TITULACIÓN POR LA MODALIDAD DE TESIS CON CICLO DE TESIS) de la Facultad de Ingeniería Mecánica - Energía de la Universidad Nacional del Callao

Presidente : Mg. FÉLIX ALFREDO GUERRERO ROLDÁN  
Secretario : Dr. JOSÉ HUGO TEZÉN CAMPOS  
Vocal : Ing. HÉCTOR ALBERTO PAZ LÓPEZ  
Suplente : Ing. MARTÍN TORIBIO SIHUAY FERNÁNDEZ

Designados por Resolución de Consejo de Facultad N° 069-2014-CF-FIME de fecha 10.07.14, a fin de proceder al acto de evaluación de la tesis titulada "DISEÑO DE UN MOLINO DE CUCHILLAS DE 300 KG/H PARA LA MOLIENDA DE PLÁSTICOS SÓLIDOS HDPE. GRUPO DIMARSA SAC.-PUENTE PIEDRA" presentada por el Señor Bachiller MILLONES HERNÁNDEZ, José Luis.

Contando con la presencia del Supervisor General, Dr. JOSÉ RAMON CACERES PAREDES, Vicerrector de Investigación de la Universidad Nacional del Callao; Supervisor de la Facultad, Dr. Isaac Pablo Patrón Yturry, Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica-Energía; y, el Representante de la Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Mecánica-Energía, Ing. JUAN GUILLERMO MANCCO PEREZ.

A continuación, se dio inicio a la sustentación de la Tesis de acuerdo a lo normado por el Capítulo X (numerales 10.1 al 10.4) de la "Directiva para la Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis en la Universidad Nacional del Callao", aprobada por Resolución Rectoral N° 754-2013-R, de fecha 21 de agosto del 2013, modificada por la Resolución Rectoral N° 777-2013-R de fecha 29 de agosto del 2013, la resolución Rectoral N° 281-2014-R del 14 de abril del 2014 con la que se modifica el artículo 4.5 del capítulo IV de la organización del ciclo de tesis de la directiva N° 012-2013-R así como también de acuerdo a lo normado, en la parte pertinente, por el Reglamento de Grados y Títulos de Pregrado de la Universidad Nacional del Callao, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 082-2011-CU de fecha 29 de abril del 2011.

Culminado el acto de exposición, los señores miembros del Jurado Evaluador procedieron a formular las preguntas al indicado Bachiller, las mismas que fueron absueltas satisfactoriamente.

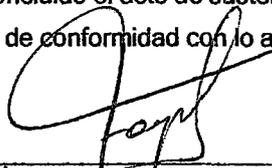
Luego de un cuarto intermedio, para la deliberación en privado del Jurado respecto a la evaluación de la tesis, se ACORDÓ: CALIFICAR la tesis sustentada por el Señor Bachiller MILLONES HERNÁNDEZ, José Luis, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico por la modalidad de tesis con Ciclo de Tesis, según la puntuación cuantitativa y cualitativa que a continuación se indica:

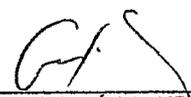
CALIFICACIÓN CUANTITATIVA	CALIFICACIÓN CUALITATIVA
13 (TRECE)	BUENO

Finalmente, se procedió a leer en público el acta de sustentación.

Siendo las 5:55:00 PM horas del día viernes 19 de setiembre del dos mil catorce, el señor Presidente del Jurado dio por concluido el acto de sustentación de tesis.

En señal de conformidad con lo actuado, se levanta la presente Acta.

  
Mg. FÉLIX ALFREDO GUERRERO ROLDÁN  
PRESIDENTE

  
Dr. JOSÉ HUGO TEZÉN CAMPOS  
SECRETARIO

  
Ing. HÉCTOR ALBERTO PAZ LÓPEZ  
VOCAL

  
Ing. MARTÍN TORIBIO SIHUAY FERNÁNDEZ  
SUPLENTE

## **DEDICATORIA**

“A DIOS TODOPODEROSO, por guiarme, darme sabiduría y permitirme llegar hasta donde estoy”.

“A mis padres AUGUSTO MILLONES y LUZ ANGELICA HERNANDEZ por el apoyo incondicional que en todo momento me han brindado a lo largo de mi vida, los amo”.

“A mis hermanos MANUEL Y JANETH por estar siempre a mi lado apoyándome, los quiero mucho”.

“A mis abuelos JUAN Y EUGENIA, que a pesar de no estar físicamente conmigo me han protegido y cuidado desde arriba, y sé que estarían muy orgullosos de ver lo que he logrado hasta ahora”.

“A todos mis compañeros de estudio, amigos y profesores, que durante mi vida universitaria, me brindaron su amistad, consejo y ánimo”.

## **AGRADECIMIENTOS**

“A DIOS TODOPODEROSO, por no desampararme nunca durante el transcurso de mi carrera”.

“A mis padres AUGUSTO MILLONES y LUZ ANGELICA HERNANDEZ por enseñarme a ser mejor persona cada día, y con sus ejemplos haberme inspirado a lograr mis metas durante toda mi vida”.

“A mi hermano MAX, por ser ejemplo de superación y ayudarme a lo largo de toda mi carrera”.

“A mis amigos y demás personas que me han ayudado y acompañado a lo largo de mi vida universitaria”.

“A mi tutor YARÍN ACHACHAGUA por brindarme sus conocimientos de ingeniería y permitirme culminar de manera exitosa este reto”.

“Al personal académico y administrativo de la UNAC, por darme los recursos y la formación necesaria para lograr ser el mejor profesional posible”.

## ÍNDICE

ÍNDICE .....	1
ÍNDICE DE TABLAS .....	3
ÍNDICE DE FIGURAS .....	3
RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
1.1 Identificación del problema .....	7
1.2 Formulación del problema.....	7
1.2.1 Problema general .....	8
1.2.2 Problemas específicos .....	8
1.3 Objetivos de la investigación .....	8
1.3.1 Objetivo general.....	8
1.3.2 Objetivos específicos.....	9
1.4 Justificación .....	9
1.5 Importancia .....	10
MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 Antecedentes del estudio .....	11
2.1.1 A nivel internacional:.....	11
2.1.2 A nivel nacional:.....	12
2.2 Marco conceptual .....	13
	1

2.2.1	Planta recuperadora de plásticos: .....	13
2.2.2	Plásticos HDPE: .....	15
2.2.3	Molinos para plásticos: .....	28
2.3	Marco Normativo: .....	51
VARIABLES E HIPÓTESIS .....		52
3.1	Variables de la investigación .....	52
3.1.1	Variable independiente: .....	52
3.1.2	Variable dependiente: .....	52
3.2	Operacionalización de variables .....	52
3.3	Hipótesis .....	53
3.3.1	Hipótesis general: .....	53
3.3.2	Hipótesis específicas .....	53
METODOLOGÍA .....		54
4.1	Tipo de investigación .....	54
4.2	Diseño de la investigación .....	54
4.2.1	Parámetros básicos de la investigación .....	54
4.2.2	Detalles de la investigación .....	54
4.3	Población y muestra .....	82
4.4	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos .....	83
4.5	Procedimiento de recolección de datos .....	83
4.6	Procesamiento estadístico y análisis de datos .....	83
RESULTADOS .....		84
DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....		85

6.1	Contrastación de la hipótesis con los resultados .....	85
6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	86
	CONCLUSIONES .....	87
	RECOMENDACIONES .....	88
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	89

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.2-1	Propiedades físicas del HDPE .....	18
Tabla N° 2.2-2	Propiedades químicas del HDPE.....	20
Tabla N° 2.2-3	Propiedades mecánicas del HDPE.....	23
Tabla N° 2.2-4	Coefficiente de corrección de Potencia.....	36
Tabla N° 2.2-5	Factor de Confiabilidad aproximado.....	41
Tabla N° 4.2-1	Velocidades Periféricas para la molienda .....	55
Tabla N° 4.2-2	Presupuesto para Molino (materiales) .....	81

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.2-1	Proceso de transformación del plástico HDPE .....	14
Figura N° 2.2-2	Código de reciclaje del HDPE.....	16
Figura N° 2.2-3	Principales Aplicaciones del HDPE.....	27
Figura N° 2.2-4	Geometría de bandas planas.....	38
Figura N° 2.2-5	Factor de Tamaño.....	41
Figura N° 2.2-6	RODAMIENTOS .....	45
Figura N° 2.2-7	Tipos de chavetas .....	50
Figura N° 4.2-1	Potencia Requerida Vs Capacidad de Molienda.....	57

Figura N° 4.2-2 Diseño del eje de transmisión .....	62
Figura N° 4.2-3 Diseño de soporte de cuchillas .....	63
Figura N° 4.2-4 Disposición de soportes en eje .....	63
Figura N° 4.2-5 Cuchilla rotatoria.....	64
Figura N° 4.2-6 Cuchilla fija .....	65

## RESUMEN

La investigación que se presenta a continuación tuvo como objetivo general proponer el diseño de un molino para la molienda de plásticos sólidos HDPE, que sea factible para la empresa recuperadora de plástico GRUPO DIMARSA SAC, ubicado en el distrito de Puente Piedra. La investigación se desarrolló en dos etapas: Etapa I: Diseño de un molino para plásticos HDPE de 300kg/hora, el cual se realizó dimensionando cada una de las partes a través del análisis de resistencia mecánica de materiales y de elementos de máquinas, tomando en cuenta ciertos parámetros asociados a la molienda de plásticos.

Etapa II: Estudio de la factibilidad técnico- económica.

Se concluye que el proyecto es factible desde el punto de vista del diseño y económico, no requiere de mano de obra especializada y los elementos involucrados en el mismo se pueden obtener en el mercado nacional, en donde el costo total es de **12,684.071USD**.

## ABSTRACT

The research presented here was the general objective to propose the design of a mill for grinding plastic solid HDPE, which is feasible for the restoring plastic company GRUPO DIMARSA SAC, located in the district of Puente Piedra. The research was conducted in two phases: **Phase I:** Design of a mill for plastic HDPE 300kg/hora, which was performed by sizing each of the parties through the analysis of strength of materials and machine elements, taking into certain parameters associated with grinding plastics.

**Phase II:** Study of technical and economic feasibility.

It is concluded that the project is feasible from the point of view of design and economical, requires no skilled labor and the elements involved in it can get work in the domestic market, where the total cost is **12,684.071 USD**

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 Identificación del problema**

Actualmente uno de los recursos no metálicos más utilizado en aplicaciones de la vida diaria es el plástico, por su fácil producción y peso ligero. Sin embargo, el problema que se presenta con este material es que no se degrada fácilmente y conduce a problemas de contaminación, lo que conlleva hoy en día a su recuperación.

En el Distrito de Puente Piedra se encuentra la empresa recuperadora de plásticos GRUPO DIMARSA SAC, cuya función es elaborar materia prima a partir del reciclado de los plásticos, contribuyendo al aprovechamiento del plástico y a reducir la contaminación. Para que este plástico recuperado sea eficiente debe cumplir con una granulometría indicada, y esto se logra haciendo uso de los molinos.

El gran inconveniente que se presenta con los molinos de esta empresa es que son construidos empíricamente y no de manera tecnificada, lo que dificulta muchas veces la molienda de plásticos sólidos. De allí nace la necesidad de diseñar un molino que posea la capacidad de moler materiales plásticos sólidos con facilidad y lograr que cumplan con la granulometría indicada.

#### **1.2 Formulación del problema**

En base a lo ya establecido surgen las siguientes interrogantes:

### **1.2.1 Problema general**

- ¿Cómo es el diseño un Molino de cuchillas de 300kg/hora, que permita obtener plástico solido molido con granos de 4mm, para el Grupo Dimarsa SAC – Pte. Piedra?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cómo asegurar una correcta granulometría final del plástico molido?
- ¿Cómo desarrollar un sistema que asegure la transmisión adecuada?
- ¿Cómo asegurar que el diseño del molino para plásticos solidos sea factible?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

- Diseñar un molino de 300kg/hora que permita obtener plástico solido molido con granos de 4mm, para el Grupo Dimarsa SAC - de Puente Piedra.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Seleccionar las cuchillas y tamiz, para asegurar granos de plástico HDPE de 4mm.
- Calcular el sistema de transmisión, para asegurar la capacidad productiva requerida.
- Establecer la factibilidad Técnico – Económica para el diseño de un molino de cuchillas.

### **1.4 Justificación**

El desarrollo de este trabajo le permitirá a la empresa recuperadora de plástico Grupo Dimarsa SAC, contar con el diseño de un molino que podrá moler plásticos sólidos HDPE, a una capacidad productiva de 300kg/hora, algo que no se logra fácilmente con los molinos que existen actualmente en estas empresas, ya que la mayoría las importan, generando un gasto excesivo en el traslado y posterior mantenimiento ó están contruidos de manera empírica; sin conocimientos científicos y técnicos, haciendo imposible la recuperación eficiente del plástico.

Por esta razón se podría lograr un diseño que cumpla con las exigencias y además incentivar la actividad del reciclaje en las industrias, bajo la premisa de que al emplearlo podrán contribuir a la preservación del ambiente y además reducir costos al reutilizar material; además al automatizarse podrían lograr mayor competitividad en el mercado y así maximizar sus ganancias, dando como resultado una gestión eficiente dentro de las mismas.

## **1.5 Importancia**

La presente investigación contribuye al desarrollo de un diseño tecnificado de nuevos molinos de cuchillas para empresas recuperadoras de plásticos, los cuales pueden ser fabricados dentro del territorio nacional y así evitar los costos y tiempos innecesarios que acarrearán el proceso de importación. Esto generará mayor productividad en las empresas y con ello se logrará incentivar al pueblo peruano de las ventajas que se obtienen al reciclar los plásticos.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes del estudio**

##### **2.1.1 A nivel internacional:**

En la biblioteca virtual de la escuela superior politécnica del litoral de Ecuador, se encuentra la tesis "Rediseño de un molino para plásticos de construcción nacional", cuyo autor es María E. Cantos Muñoz, quien presento y sustento para obtener el grado de Ingeniera Mecánica, en el año 2005; el trabajo de investigación tuvo como objetivo mejorar la eficiencia del molino, logrando que el material reciclado permanezca el menor tiempo posible en su interior, disminuyendo los tiempos perdidos por atoramiento del molino generados por el bajo rendimiento. Esta investigación consistió en la toma de datos de consumo de energía, en la verificación de la forma de trabajo y en los reportes de producción del molino, comparándolos con molinos de características similares pero de tecnología extranjera, los cuales tienen una capacidad de producción un 100% mayor. Posteriormente se analizó el diseño y se llevaron a cabo las modificaciones, contribuyendo a la mejora de la eficiencia del molino para lograr mayor producción de plástico para ser tratado como materia prima.

En la biblioteca virtual de la Universidad Nacional Experimental Politécnica de Venezuela, se encuentra la tesis "Diseño de un molino para la molienda de plásticos sólidos para empresas recuperadoras", cuyo autor es Jesús

Quero, quien presentó y sustentó para obtener el grado de Ingeniero Mecánico, en el año 2011; de cuyo trabajo de investigación se deduce la conclusión final: Usando 3 fases de diseño (Diagnostico de necesidad de molinos en una población; estudio de factibilidad técnico, operativa y económica y diseño del molino), se puede asegurar que el molino para plásticos Polipropileno y Polietileno llega a ser rentable y aceptable para empresas recuperadoras del estado de Lara.

En la biblioteca virtual de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se encuentra la tesis "Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (pead)", cuyo autor es Iván Ernesto Roca Girón, quien presento y sustento para obtener el grado de Ingeniero Químico, en el año 2005; el trabajo de investigación tuvo como objetivo Conocer en forma general la obtención, propiedades y aplicaciones del Polietileno de alta densidad.

También describe los comportamientos que este material presenta ante distintas situaciones.

A demás señala las propiedades Físico, químicos, mecánicas, etc. Que presentan este tipo de plásticos.

#### **2.1.2A nivel nacional:**

En la biblioteca central de la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima-Perú, se encuentra la tesis "Diseño de un molino de martillo de doble eje", cuyo autor es Delmi O. Niño de Guzman., quien presento y sustento para

obtener el grado de Ingeniero Mecánico Electricista, en el año 2006; de cuyo trabajo de investigación se deduce la conclusión final:

Un molino se encuentra en condiciones de adecuarse a los requerimientos de los programas de molienda de granos, porque para el diseño de los parámetros se debe tomar las condiciones más críticas. Además, para obtener productos a mayor granulometría, se debe aumentar el tamaño de los agujeros del tamiz y con ello también aumenta la capacidad productiva.

## **2.2 Marco conceptual**

### **2.2.1 Planta recuperadora de plásticos:**

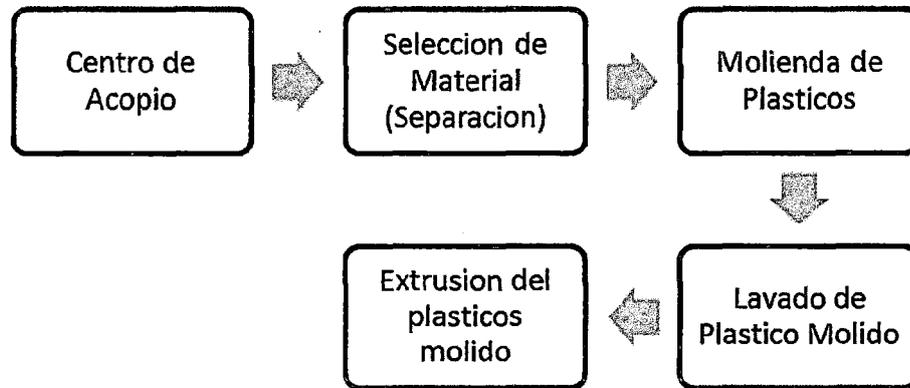
- **Definición:**

Es un ambiente donde se sitúan distintos procesos; la materia (plásticos hdpe) que es desechada, llega a esta planta, donde se compacta y se almacena para proceder con el proceso de transformación. Al finalizar se obtiene un producto ideal para el consumidor.

- **Proceso de transformación del plástico HDPE:**

El proceso de transformación que siguen los plásticos HDPE en la empresa en estudio se da de la siguiente forma se señala en la **Figura N° 2.2-1**

**Figura N° 2.2-1 Proceso de transformación del plástico HDPE**



Fuente: Elaboración propia.

**Centro de Acopio:** Es el ambiente donde se recibe los plásticos sólidos de manera manual y se compactan para un mejor almacenaje y transporte dentro de la planta.

**Selección de Material:** Luego de que la materia prima sea trasladada al punto de transformación, se realiza una separación del PVC y el PET, haciendo uso de la mano de obra o mediante la técnica de flotación, que consiste en hacer flotar el HDPE en agua, ya que el PVC y el PET poseen mayor densidad que el agua.

**Molienda de plásticos:** Proceso en el que el material experimenta una reducción del 80 al 90% del volumen.

**Lavado y Secado:** en este proceso se desprenden los restos orgánicos y otros contaminantes presentes en el plástico molido, para luego ser secado.

**Extrusión:** El plástico es convertido en granza (pellets) para luego ser procesada por diferentes técnicas.

- **Molienda de plásticos:**

Este proceso reduce el volumen a transportar y se logra haciendo uso de un molino de cuchillas.

No existe un molino universal para todos los materiales, aunque muelen todos los materiales termoplásticos pero el rendimiento y la calidad no es la ideal. Un molino para moler termoplásticos debe tener las cuchillas con un ligero ángulo en V, un muy buen ajuste de la luz dentro de cuchillas fijas y rotativas, cortando y trayendo el material hacia al centro, de lo contrario este se enreda en el rotor, gira con el mismo sin cortarse y por fricción se calienta produciendo una masa difícil de moler y sacar, que termina trabando el molino, haciendo correr riesgos al motor y destruyendo las correas.

Es muy conveniente que los molinos tengan trampas magnéticas para la retención de trozos metálicos que suelen venir adheridos a los materiales y que arruinan los molinos.

### **2.2.2 Plásticos HDPE:**

- **Definición**

Los plásticos HDPE<sup>1</sup>, se definen como polímero sintético, termoplástico miembro de las poliolefinas obtenido a partir de una reacción conocida con el nombre de polimerización del polietileno elaborado a partir de etano, un componente del gas natural.

---

<sup>1</sup> Iván Ernesto Roca Girón, Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (pead), pag.17

El polietileno de alta densidad es semicristalino (70-80%), incoloro, inodoro, no tóxico, y se puede encontrar en todas las tonalidades transparentes y opacas.

Este material puede ser reciclado, al igual que los demás termoplásticos.

Es identificado con el siguiente símbolo, según **Figura N° 2.2-2**

**Figura N° 2.2-2 Código de reciclaje del HDPE**



Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Polietileno\\_de\\_alta\\_densidad](http://es.wikipedia.org/wiki/Polietileno_de_alta_densidad)

- **Antecedentes históricos**

Como antecedentes históricos<sup>2</sup>, se conoce que la historia del Polietileno se remonta al año 1898 cuando Von Pechmann obtiene un polímero de estructura equivalente al Polietileno llamada Polimetileno. Esta síntesis se produjo accidentalmente a partir de diazometano, obteniendo un polímero de bajo peso molecular. En 1900, Bamberger y Tschirner analizaron un producto similar, encontrando que tenía la fórmula  $(CH_2)_n$ . El Polietileno de baja densidad fue obtenido accidentalmente por los estudios de alta presión del etileno que Michaels realizó en Ámsterdam.

---

<sup>2</sup> Iván Ernesto Roca Girón, Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (pead), pag.1

Este descubrimiento lo aprovechó Gibson para producir Polietileno, a partir de una mezcla de etileno y benzaldehído. En 1935, en Inglaterra, los químicos e ingenieros W. Faucett, G. Paton, W. Perrin y G. Williams, polimerizaron etileno utilizando altas presiones y temperaturas.

Este descubrimiento permitió a la Imperial Chemical Industries la fabricación del Polietileno en 1938 por medio de la primera planta piloto, iniciándose la producción comercial en 1939 en Northwich, Cheshire.

En 1953, Ziegler y sus colaboradores en el Instituto Max Planck, basándose en los trabajos iniciados por el italiano Natta, estudiaron el proceso de polimerización a baja presión.

La reacción con un complejo catalítico de alquil aluminio y tetracloruro de titanio daba lugar a la fabricación de un Polietileno de mayor densidad y temperatura de fusión, como consecuencia de su mayor regularidad.

A este polietileno se le denominó de alta densidad (PEAD o sus siglas en inglés HDPE), haciendo mención a sus propiedades, o de baja presión, debido a su método de obtención.

En 1955 se inauguró en Alemania la primera fábrica de este material. Simultáneamente la Phillips Petroleum Co. en USA, desarrollaba un proceso industrial de obtención de Polietileno de alta densidad, altamente cristalino utilizando presiones medias, y como catalizador óxido de cromo soportado sobre sílice. La primera planta industrial se montó en Pasadena en 1957.

- **Propiedades generales del HDPE**

Las propiedades del polietileno de alta densidad como las de cualquier otro polímero dependen fundamentalmente de su estructura, es decir básicamente de su peso molecular y cristalinidad.

**Propiedades físicas:**

El polietileno de alta densidad tiene una densidad como se observa en la tabla siguiente (Tabla 2.1) de 0.941-0.965 g/cm<sup>3</sup>; presenta un alto grado de cristalinidad, siendo así un material opaco y de aspecto ceroso.

En la **Tabla N° 2.2-1**, observamos las principales propiedades físicas presentes en el HDPE:

**Tabla N° 2.2-1 Propiedades físicas del HDPE**

<b>Propiedades</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	0.941-0.965
Contracción	%	1.5 - 3
Resistencia a la tensión al cede	N/mm <sup>2</sup>	18 - 35
Elongación Punto de ruptura	%	1000
Temperatura de defección		
1.86 N/mm <sup>2</sup>	1.86 N/mm <sup>2</sup>	1.86 N/mm <sup>2</sup>
0.45 N/mm <sup>2</sup>	0.45 N/mm <sup>2</sup>	0.45 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia dieléctrica	KV/cm	>600

Fuente: Iván Ernesto Roca Girón, 2005.

En el HDPE a mayor densidad, menor permeabilidad, debido a su naturaleza no-polar, absorbe poca humedad y tiene alta cualidad de barrera a vapor de esta sustancia.

El HDPE tiene elevada permeabilidad a ciertas sustancias en que es soluble a elevadas temperaturas, como son los solventes alifáticos, aromáticos y clorados.

También presenta cierta permeabilidad a los aceites y grasas. En botellas, estas sustancias inducen una ligera suavización en el largo plazo y la posibilidad de fisuras bajo tensión, especialmente en el homopolímero.

**Propiedades químicas:**

La resistencia química de los polímeros a los reactivos inorgánicos tales como ácidos y álcalis es muy elevada. Sin embargo son vulnerables por algunos disolventes orgánicos, sobre todo si tienen similitud química con las unidades estructurales que lo forman. El ataque supone ablandamiento, hinchamiento, llegando a su disolución final. Los polímeros cristalinos presentan mayor resistencia a estos compuestos que los materiales amorfos de la misma composición química, como consecuencia del empaquetamiento entre cadenas que dificulta la penetración del disolvente u otros reactivos.

Este plástico soporta muy bien a ácidos fuertes (no oxidantes) y bases fuertes. En niveles superiores a 60 °C, el material resiste muchos solventes, excepto hidrocarburos aromáticos y halogenados, aceites, grasas y ceras que inducen hinchamiento, mismo que es menor con los

solventes alifáticos. El Polietileno de alta densidad es parcial o totalmente soluble en ciertos casos extremos, por ejemplo en benceno o xileno a punto de ebullición. Los halógenos y las sustancias altamente oxidantes atacan a este plástico, por ejemplo ácidos inorgánicos concentrados como ácido nítrico, sulfúrico, perclórico, etc.

El cambio en las cualidades de ese plástico debido a los compuestos referidos y en general, a cualquier sustancia depende de varios factores: concentración, tiempo de exposición, peso molecular, tensiones residuales de la transformación o inducidas mecánicamente, principalmente.

Las principales propiedades químicas del polietileno de alta densidad, se describen en la tabla siguiente, **Tabla N° 2.2-2:**

**Tabla N° 2.2-2 Propiedades químicas del HDPE**

<b>Reactivo</b>	<b>Resistencia</b>
Ácidos - concentrados	Bueno
Ácidos – diluidos	Bueno
Alcalis	Bueno
Alcoholes	Bueno
Cetonas	Bueno
Grasas y aceites	Aceptable
Halogenós	Mala
Hidrocarburos aromáticos	Aceptable - Buena

Fuente: Iván Ernesto Roca Girón, 2005.

**Propiedades mecánicas:**

Las propiedades mecánicas de un material se refieren a su capacidad para soportar fuerzas, el modo como se deforman y ceden ante dichas fuerzas. Así las propiedades mecánicas del Polietileno de alta densidad dependen básicamente de su estructura, que comprende lo que es la distribución del peso molecular, el peso molecular y la cristalinidad. Pero también depende de factores externos como lo son la temperatura, entorno químico y el tiempo, entendido este último como medida de la rapidez con que se aplican fuerzas, así como de la duración de éstas.

La rigidez, dureza y resistencia a la tensión del Polietileno de alta densidad se incrementa con la densidad, ya que si esta aumenta es un indicador de que el material es más cristalino, y por lo tanto será más resistente ante la misma magnitud de fuerza aplicada que un espécimen de menor densidad. Así también al aumentar el peso molecular hasta cierto "punto" las propiedades mecánicas mejoran. Pesos moleculares inferiores a dicho punto suelen no ser tan útiles. Rebasado este punto, la resistencia mecánica suele seguir mejorando, pero ya más gradualmente, a medida que aumenta el peso molecular.

Debido a ello se supone que lo mejor es aumentar el peso molecular para mejorar las propiedades mecánicas, sin embargo el proceso de fabricación se hace a partir del polímero fundido, y la viscosidad del fundido crece exponencialmente con el peso molecular, por lo que, pesos moleculares

muy elevados requieren mayores esfuerzos y más alto consumo de energía en la fabricación de piezas.

Por lo tanto se debe de llegar a un punto de equilibrio entre la factibilidad en el proceso y la resistencia que se desea del material.

Dicho punto de equilibrio se obtiene industrialmente ya que es bastante flexible. Como ejemplo se puede mencionar el Polietileno de ultra alta masa molecular, que tiene el peso molecular más alto alcanzable, pero su costo también es elevado.

El Polietileno de alta densidad es muy tenaz, de esta manera demuestra alta resistencia a los impactos aun a bajas temperaturas, pues es capaz de absorber parte de la energía proveniente de los impactos mediante deformaciones. Esto lo logra gracias a las zonas amorfas del polímero ya que dichas deformaciones se traducen en cambio de conformación del material.

A continuación en la **Tabla N° 2.2-3**, se detalla las propiedades mecánicas más importantes del Polietileno de alta densidad.

**Tabla N° 2.2-3 Propiedades mecánicas del HDPE**

<b>Propiedades</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Coeficiente de fricción		0.29
Dureza – Shore		D60 - 73
Módulo de tracción	(Gpa)	0.5 - 1.2
Relación de poisson		0.46
Resistencia a la tracción	(Mpa)	15 – 40
Resistencia al impacto	( J m <sup>-1</sup> )	20 - 210
Izod		

Fuente: Iván Ernesto Roca Girón, 2005.

- **Métodos de transformación del HDPE:**

La fabricación del Polietileno de alta densidad se puede dar por diferentes métodos. Previamente a su transformación, se adicionan aditivos, esto recibe el nombre de formulación. Dentro de los métodos de transformación se encuentran el de Extrusión, Inyección, Soplado, Rotomoldeo, Termoformado, y Compresión. Por medio de una o más de estas técnicas es posible transformar los diferentes tipos de Polietileno de alta densidad.

**Moldeo por extrusión:**

El moldeoado por Extrusión consiste en introducir el Polietileno de alta densidad en forma de granza en un cilindro en cuyo interior se encuentra el husillo. El material es empujado, compactado y finalmente fundido en el cilindro y después extruído en el cabezal saliendo al exterior en forma de

tubo, película, lámina, perfil y otros. La pieza al salir de la extrusora pasa por un baño de agua que va enfriando la pieza progresivamente.

El moldeo por Extrusión es un proceso de fabricación continua y el más utilizado para la transformación del Polietileno de alta densidad pero tiene la desventaja de fabricar piezas inconclusas las cuales necesitan un tratamiento posterior al moldeo por extrusión. Tal es el caso de la laminación que necesita el moldeo por Termoconformado.

#### **Moldeo por inyección:**

El moldeoado por inyección consiste en introducir al Polietileno de alta densidad en forma de granza a un cilindro. En este por acción combinada de calor y presión se convierte al polímero en un líquido viscoso capaz de fluir hasta el molde donde toma forma la pieza en cuestión. Después de un tiempo el plástico se vuelve sólido, el molde se abre y la parte moldeada es removida.

#### **Moldeo por soplado:**

El moldeo por soplado se utiliza para la fabricación de cuerpos huecos. La utilización de Polietileno de alta densidad con este método se puede llevar a cabo por Extrusión sopro e Inyección sopro.

#### **Moldeo por rotomoldeo:**

El proceso de rotomoldeo consiste en vaciar el material en el molde, luego cerrar el molde e introducir el molde al horno. Esperar cierto tiempo mientras gira el molde dentro del horno y por último sacar del horno y

continúa girando el molde. El tiempo de permanencia en el horno depende del tamaño de la pieza y el espesor de pared.

En este tipo de proceso se debe de utilizar material en polvo, y se recomienda que tenga índices de fluidez que varían de 2.5 a 25 g/10 min.

La transformación por Rotomoldeo es un proceso no continuo y se limita a la fabricación de artículos de tamaño grande, como tinacos y envases.

#### **Moldeo por compresión:**

Esta técnica de transformación consiste en colocar el material a transformar dentro de una de las caras del molde. Las caras del molde deben de estar calientes y sólo una de ellas es movable.

Luego se cierra el molde provocando que por la presión y calor el material tome la forma deseada del molde. Este tipo de moldeo solo se utiliza para transformar el Polietileno de ultra alta masa molecular ya que no puede ser procesado por inyección, extrusión, soplado o termoformado, debido a las grandes cadenas de moléculas que lo forman.

El equipo para la compresión consiste en: prensa hidráulica, moldes y equipo auxiliar.

#### **Termoformado:**

Este método de transformación es posterior al de Extrusión y se utiliza para el moldeo de láminas de plástico por la acción del calor y una fuerza de formado, que puede ser por presión o vacío.

El método para el Termoformado consiste en que el plástico en forma de lámina se calienta a una determinada temperatura, después es moldeado con presión o vacío y finalmente enfriado.

### **Acabado**

El acabado se refiere al proceso final que se da a los artículos fabricados por los diferentes métodos de transformación. Este consiste en la aplicación de tinta, como por ejemplo a las bolsas plásticas de Polietileno de alta densidad. Esto representa un problema ya que el Polietileno es un material apolar, y las tintas no logran anclar sobre el material. Es por ello que se requiere un tratamiento denominado "corona" en el que se oxida la cara de la pieza donde se desea imprimir.

El tratamiento corona consiste en una descarga de alto voltaje que genera una atmósfera de ozono y proporciona al material una energía superficial de 38 dinas/cm, la cual produce porosidad superficial al material y en consecuencia las tintas pueden anclarse.

El acabado es temporal, por lo que se recomienda que después de que se aplica el tratamiento corona, se realice la impresión, ya que de lo contrario, aproximadamente a los tres meses desaparecen los efectos superficiales.

- **Aplicaciones del plástico HDPE**

El polietileno de alta densidad cuenta con un número de aplicaciones (señalados en la **Figura N° 2.2-3**), en el sector de envase y empaque se utiliza en bolsas para mercancía, bolsas para basura, botella para leche y yogurt, cajas para transporte de botellas, envases para productos químicos,

envases para jardinería, detergentes y limpiadores, frascos para productos cosméticos y capilares, recubrimiento de sobres para correo, .en la industria eléctrica se usa como aislante de cable y alambre, para conexiones y cuerpos de bobina.

En el sector automotriz se usa en recipientes para aceite y gasolina, conexiones y tanques para agua, además de tubos y mangueras.

En la construcción se puede encontrar en Tuberías de conducción de agua potable y desagües, caños de calefacción, uniones (fittings), baldes, tanques de combustible para calefacción.

**Figura N° 2.2-3 Principales Aplicaciones del HDPE**



Fuente: <http://showdsgn.blogspot.com>

### **2.2.3 Molinos para plásticos:**

- **Molinos de cuchillas**

Existen diferentes tipos de molinos<sup>3</sup> que se utilizan para la reducción de tamaños de diversos materiales: granos, áridos, cargas, pigmentos y otros, pero los molinos de cuchillas para plásticos difieren de estos en tres características importantes. En primer lugar, no deben propiamente moler (desgarrar, triturar), sino cortar. También es importante que la densidad aparente sea similar a la de la granza, y que su granulometría sea homogénea.

En segundo lugar, deben tener una gran capacidad de disipación de calor, puesto que si la energía cinética del corte resulta en un incremento excesivo de la temperatura del polímero, éste se degrada y de incorporarse al moldeo produce partes defectuosas, como huecos o poros que inutilizan el producto tanto para su comercialización como, en muchos casos, para el aprovechamiento de las piezas defectuosas mediante una nueva molienda. Finalmente, además de disipar calor, los molinos deben evitar en lo posible su generación adicional por rozamiento de las partes o trozos de material alimentado en movimiento con las partes estáticas de la máquina, que produciría idénticos efectos.

---

<sup>3</sup> María E. Cantos Muñoz, Rediseño de un molino para plásticos de construcción nacional, pag. 76

- **Factores que influyen en la selección del Molino**

Hace 10 ó 15 años la molienda de materiales plásticos no era considerada una operación de alta tecnología. Aún hoy, algunos procesadores persisten en pensar que la operación de reducir el tamaño de los materiales plásticos no requiere una consideración especial si la maquina con que se cuenta es lo suficientemente grande como para recibir cualquier tipo de desperdicio que se lance en ella. Pero, si se descuida la importancia que tiene el molino en la eficiencia global de la producción y en la calidad del producto, estas propiedades se pueden perjudicar. Por lo tanto el procesador debe poner atención a la manera como se está tratando el material en el momento en que ocurre la reducción del tamaño.

El procesador puede lograr del 20 al 40% de mejoramiento en la calidad del producto y en la eficiencia de molienda si agudiza su capacidad de seleccionar el molino. Se puede comenzar adquiriendo un entendimiento claro del tipo de material a ser molido: Su composición, dureza, sensibilidad al calor, forma física (partes completas, canales de inyección, rollos, o pilas de restos de películas), tamaño, espesor de pared y temperatura. También se debe considerar como y a qué velocidad el desperdicio es obtenido. Todos estos factores ayudan a determinar el tamaño más apropiado de máquina para moler, tipo de alimentación, diseño de la cámara, configuración del rotor y las cuchillas, velocidad del rotor, potencia del motor, tamaño de la malla, y sistema de extracción del material molido.

**Eliminar Finos:** El primer objetivo en el proceso de molienda es lograr un tamaño de material molido uniforme y que en tamaño se acerque a aquel de la resina virgen, y con un mínimo de finos. Entre más se acerque la densidad del molido a la de la resina virgen, menores serán los problemas con la alimentación de los dos materiales en proporción consistente. Un reciclado limpio con pocos finos ayuda a mantener más limpias las mallas de la tolva cargadora y también ayuda a prevenir la formación de puentes en los recibidores al vacío.

Una correcta selección del molino ajusta el diseño del rotor y las cuchillas, los espacios libres de las cuchillas, la velocidad del rotor y el tamaño de la malla a las propiedades del material a alimentar y a su forma física.

**El material importa:** Muchos tipos de diseño de molino dependen del material que se quiere procesar. Los materiales suaves, flexibles y con capacidad de absorber energía generalmente producen las partículas más uniformes. Los materiales rígidos y frágiles tienden a fracturarse bajo el impacto de las cuchillas rotatorias y van a generar tamaños de partículas menos uniformes.

También son críticos el tamaño, la forma, el espesor del material que alimenta al molino.

No se puede olvidar la temperatura del material que alimenta al molino. Los materiales tibios suelen ser menos frágiles y se cortan fácilmente. Ejemplos de materiales tibios son las purgas y las tortas de arranque extrusoras, equipos de moldeado por soplado, prensas de inyección o

termoformadoras. Los requerimientos de torque pueden ser significativamente menores que los que se necesitan para procesar el mismo material frío. Sin embargo, el plástico no debe estar muy caliente porque ensucia las cuchillas de corte, tapa los huecos de la malla, y a la vez, reduce la eficiencia del molino.

- **Estructura de los molinos**

La estructura de los molinos para plásticos<sup>4</sup>, básicamente, están constituidos por una tolva de alimentación del material, cuya abertura inferior define la capacidad volumétrica del molino, que también es definida por el diámetro del rotor. Esta tolva de alimentación da acceso a la cámara de molienda; donde se encuentra un rotor porta-cuchillas y un estator con otras cuchillas, produciéndose entre ambas el corte del material.

En la parte inferior de la cámara se encuentra un tamiz que define la granulometría del producto a obtener, preestablecido por la holgura entre las cuchillas del estator y las del rotor. Este último recircula el material cuyo tamaño exceda al de las aberturas del tamiz. Debajo del tamiz hay otra tolva, de salida, en que se recoge el material molido y se transporta por diversos sistemas al exterior de la máquina.

La carga de la tolva de entrada se efectúa por diversos métodos, que dependen de que el material sea en forma de bloques sólidos y de su tamaño de perfilaría o tubos, de cable, de película o de cuerpos huecos.

---

<sup>4</sup> María E. Cantos Muñoz, Rediseño de un molino para plásticos de construcción nacional, pag. 86

Puede efectuarse manualmente, mediante cinta transportadora, transporte vibratorio o neumático o tornillo sinfín. Este último es particularmente adecuado para efectuar una pre reducción de tamaño de cuerpos huecos, cuyo gran volumen en relación a su peso exigiría una boca de entrada a la cámara de tamaño de excesivo.

Dentro de la máquina existen tres componentes cuya selección afecta directamente la calidad del molino producido. Estos son el rotor, las cuchillas rotatorias y estacionarias y la malla. Adicionalmente, también se debe poner atención a los factores de operación como la velocidad de las cuchillas y el espaciamiento entre ellas y la malla.

Los tres tipos de rotores son: El abierto, el cerrado (o sólido) y el escalonado. Los rotores abiertos proporcionan un flujo de aire sin restricciones a través de la cámara de corte y, por lo tanto, son escogidos con frecuencia para moler resinas sensibles al calor o materiales que al momento de ser alimentados al molino están todavía muy calientes.

Los rotores cerrados o sólidos no tienen espacios abiertos entre las cuchillas rotacionales y el eje, proporcionando un arreglo de montaje mucho más resistente y adicionando inercia al corte de partes gruesas, tales como tortas de purgas, especialmente las que están frías.

Los rotores escalonados se ofrecen en configuraciones cerradas o semicerradas y son excelentes para cortar las partes más pesadas o de pared más gruesa. Un rotor helicoidal segmentado combina las ventajas de

los rotores abiertos y cerrados, proporciona más corte por vuelta y requieren menor potencia en cantidades de producción comparables.

Hoy en día se prefieren las cuchillas colocadas en forma sesgada porque actúan como las tijeras cuando cortan. Este tipo de arreglo de la cuchilla es superior al tradicional, proporcionando una mayor capacidad de producción con menor consumo de potencia, menor generación de ruidos, y reduce la formación de finos y polvo. El corte tipo tijera se logra desviando en un ángulo pequeño al rotor a la cama de cuchillas. Este tipo de diseño produce una acción de corte en tajadas o por cizalla, en un área de impacto más reducida que la que se encuentra en las cuchillas de posición recta; que corta a lo largo de todo el ancho de la cuchilla en un solo golpe.

El ángulo de la punta de corte puede afectar la fuerza de corte. Las puntas de ángulos pequeños son romas y, por lo tanto, aplicables para trabajar con materiales frágiles. Las puntas de ángulos grandes y afilados se emplean para cortar materiales suaves y tenaces.

Muchos diseños de molinos ofrecen solamente dos camas de cuchillas estacionarias. El empleo de tres y cuatro camas de cuchillas en algunos tamaños de molinos puede aumentar significativamente la capacidad de producción, ya que también se aumenta el número de cortes por revolución.

El aumento del número de cuchillas en el rotor puede tener un efecto similar.

El espaciamiento entre las cuchillas rotatorias y la cama de cuchillas es crucial para el desempeño de la operación de tamaño. Entre más pequeño

sea este espaciamiento, más limpio y eficiente será el corte. Los espaciamientos cortos son recomendados especialmente para materiales blandos y dúctiles.

Las camas de cuchillas ajustables son valiosas porque en la mayoría de los casos cuando se saca filo a las cuchillas de los rotores, su tamaño se reduce y, por lo tanto, se acorta el círculo de corte. Para mantener un espaciamiento entre cuchillas óptimo, es necesario ajustar la cama de cuchillas estacionarias acercándolas a las cuchillas de los rotores. Al tiempo que se resuelve este problema, otro se mantiene y es el de la distancia más grande de las cuchillas del rotor y la malla. Piezas del material molido grande pueden obstruir los objetos de la malla, reduciendo así la capacidad del molino y aumentando la generación de finos y polvo. Las cuchillas ajustables en el rotor (un elemento de diseño bastante nuevo) permiten mantener los espaciamientos lo suficientemente pequeño y constantes, aún después de un afilado de las cuchillas estacionarias acercándolas a las cuchillas de los rotores.

La facilidad de ajustar las cuchillas asegura el mantenimiento de productividades máximas, especialmente cuando se procesan películas, láminas u otra clase de materiales de pared delgada.

El filo de las cuchillas es también muy importante tanto para la calidad del material molido como para el desempeño del molino. Por lo tanto, debe establecerse un programa de mantenimiento periódico para establecer el nivel de afilado de las cuchillas y desgaste de las mismas, de una manera

regular. La frecuencia de afilado de las cuchillas depende de la abrasividad del material que se corta (los materiales cargados y reforzados son los peores), y de la composición de la aleación de acero de la cual están hechas las cuchillas. Los aceros para las cuchillas, generalmente, están diseñados para proveer tenacidad o resistencia al desgaste. Para los materiales no abrasivos y suaves, las cuchillas están hechas de aceros de Cromo-Vanadio (CVS), los cuales son tenaces y resistentes al astillamiento pero se desgastan más rápidamente que otros aceros para herramientas.

- **Componentes principales para la transmisión:**

- **Motor Eléctrico**

Es el encargado de transmitir potencia al sistema, para su selección muchas veces se debe conocer la utilización final de la máquina.

En la tabla 2.2-4 se observa los factores de corrección de la potencia de diseño, la cual se puede hallar conociendo la utilización de la máquina y las horas de servicio. Luego según catálogo de correas Dunlop, se tiene:

$$PC = P \times F_{cp} \quad (2)$$

Dónde:

PC: Potencia corregida (HP)

P: Potencia nominal (HP)

Fcp: Factor de corrección de potencia (ver **Tabla N° 2.2-4**)



$w_p$ : velocidad angular polea conductora (rad/s)

$w_c$ : velocidad angular polea conducida (rad/s)

$d$ : Diámetro de polea conductora

$D$ : Diámetro de polea conducida

### **Elementos mecánicos flexibles**

Entre los elementos de máquinas de estructura flexible se tienen las bandas, cables o cadenas los cuales son utilizados en sistemas de transporte o en los de transmisión de potencia mecánica a distancias relativamente grandes. Estos elementos son utilizados para sustituir engranajes ejes, cojinetes y otros dispositivos mecánicos de transmisión relativamente rígidos, reducen notablemente el costo del diseño y además absorben cargas de choque y desempeñan un papel importante en el amortiguamiento y aislamiento de los efectos de las vibraciones.

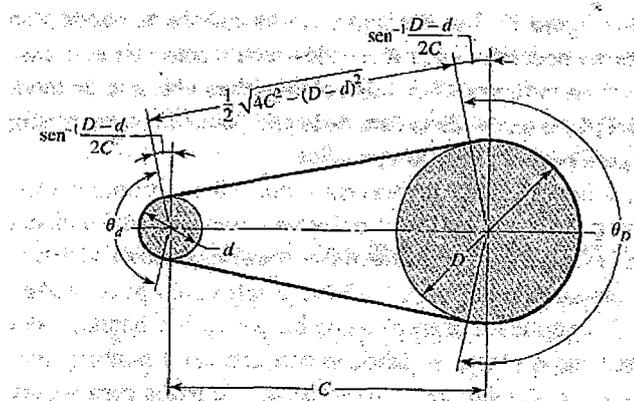
### **Bandas o correas de transmisión**

En este tipo de elemento flexible se debe tener presente que si tenemos poleas abombadas se usan bandas o correas planas y si son poleas ranuradas o acanaladas se emplean las bandas de sección redonda o trapecial (en V). Mientras que las bandas sincronizadas o cadenas requieren poleas dentadas o catarinas. Se debe tener presente que los ejes de las poleas deben estar separados una distancia mínima. Otra característica de las bandas es que pueden ser utilizadas para grandes distancias entre centros, excepto para la sincronización ya que existe un cierto deslizamiento y estiramiento de estas para grandes distancia.

### Transmisión de banda plana o redonda

Este tipo de transmisión produce muy poco ruido y absorben mayor vibración torsional del sistema, que una transmisión de engranajes o banda en V y su eficiencia es aproximadamente de un 98%. Este tipo de sistema se puede observar en la siguiente **Figura N° 2.2-4**:

**Figura N° 2.2-4 Geometría de bandas planas**



Fuente: Shigley, J., Diseño en ingeniería mecánica, 2008

### Transmisión de bandas en V o trapeciales

La eficiencia de este tipo transmisión varía de casi 70 a 96%. Este tipo de banda ha sido estandarizado por los fabricantes y cada sección se designa con una letra del alfabeto (A, B, C, D y E), en donde se especifican, las dimensiones, diámetro mínimo de la polea y el intervalo de potencia en Hp para cada una de las secciones.

Para especificar una banda trapecial se debe indicar la sección de la banda seguida de la circunferencia interior en pulgadas, por ejemplo B75.

La longitud de paso de la banda, viene dado bajo la siguiente ecuación (Shigley 8va edición, Pag.880).

$$L_p = 2C + 1.57(D + d) + \frac{(D-d)^2}{4C} \quad (4)$$

Donde:

$L_p$ : Longitud de paso de la banda

$C$ : Distancia entre centro de poleas

$D$ : Diámetro de polea conducida

$d$ : Diámetro de polea conductora

El ángulo de contacto, viene dado bajo la siguiente ecuación (Shigley 8va edición, Pag.863)

$$\theta_d = \pi - 2 \sin^{-1} \left[ \frac{D-d}{2C} \right] \quad (5)$$

Para el cálculo de potencia de diseño (según shigley 8va. Edición, pág. 880):

$$H_d = K_1 \times \text{Potencia} \quad (6)$$

Para el cálculo de la potencia por banda (shigley 8va. Edición, pág. 880):

$$H_a = K_1 \times K_2 \times H_{\text{tab}} \quad (7)$$

Donde:

$K_1$ : Factor de corrección del angulo de contacto (Anexo D)

$K_2$ : Factor de corrección de longitud de banda (Anexo E)

$H_{\text{tab}}$ : Potencia nominal (Anexo F)

Por tanto el número de bandas a usar viene dado por la siguiente ecuación (Shigley 8va. Edicion, pág. 881):

$$N_b = \frac{H_d}{H_a} \quad (8)$$

## Árbol de transmisión

Un árbol de transmisión es un eje que transmite un esfuerzo motriz y está sometido a sollicitaciones de torsión debido a la transmisión de un par de fuerzas y puede estar sometido a otros tipos de sollicitaciones mecánicas al mismo tiempo.

En general, existen tres parámetros fundamentales para el diseño de los árboles de transmisión: su resistencia, su rigidez y su inercia de rotación.

El momento torsor máximo en el eje, viene dada por la siguiente ecuación (shigley 8va edición, pág. 97):

$$M_T = 9.55 * \frac{H}{n} \quad (9)$$

Donde:

$M_T$ : Momento torsor

$H$ : Potencia (Watts)

$n$ : RPM de patea conducida

Para ejes de sección redonda, según ANSI B106:

$$\frac{32N}{\pi d^3} \sqrt{\left(\frac{K_f M}{S'_n}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{T}{S_y}\right)^2} = 1 \quad (10)$$

Para el factor de diseño "N", Según Roberth Mott, pag.185:

$$N = 3 \text{ (para materiales ductiles, aplicado en industrias)} \quad (11)$$

Para el factor de chaflán "K<sub>f</sub>", Según Roberth Mott, pag.542:

$$K_f \begin{cases} 1.5, & \text{chaflan agudo } \left(\frac{r}{d} = 0.03; \frac{d}{D} = 1.50\right) \\ 2.5, & \text{chaflan bien redondeado } \left(\frac{r}{d} = 0.17; \frac{d}{D} = 1.50\right) \end{cases} \quad (12)$$

La resistencia a la fatiga real "S' n", según Robert Mott, pag.174

$$S'_n = S_n(C_m)(C_{st})(C_R)(C_s) \quad (13)$$

Donde:

$C_m=1$  (para acero forjado)

$C_{st}=1$  (para esfuerzo flexionante); 0.8 (para tensión axial)

$C_R$ = Factor de confiabilidad aproximado (según **Tabla N° 2.2-5 Factor de Confiabilidad aproximado**)

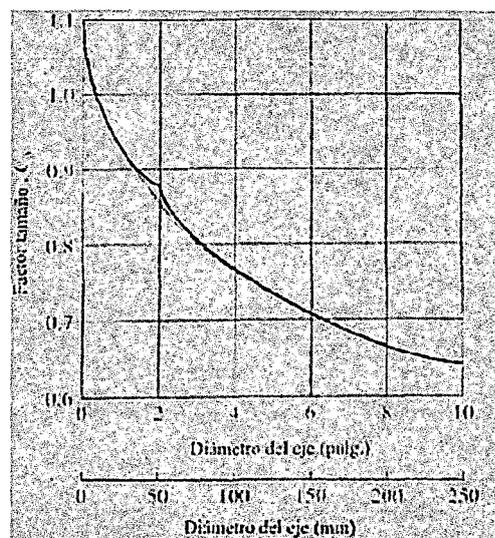
$C_s$ = Factor de tamaño (según **Figura N° 2.2-5**)

**Tabla N° 2.2-5 Factor de Confiabilidad aproximado**

Confiabilidad que se desea	Factor de confiabilidad, $C_R$
0.50	1.00
0.90	0.90
0.99	0.81
0.999	0.75

Fuente: Robert Mott, 4ta ed. Pag.175

**Figura N° 2.2-5 Factor de Tamaño**



Fuente: Robert Mott, 4ta ed. Pag.175

Si se sustituye (11), (12) y (13) en (10):

$$d = \left( \frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_f M}{S' n}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y}\right)^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (14)$$

Donde:

$M_T$ : Momento Torsor

$S_y$ : Resistencia a la fluencia

$n$ : Factor de seguridad

### **Análisis por concentración de esfuerzos**

Para análisis debido a un momento flector (según shigley 8va edicion, pag. 105), tenemos:

$$\sigma = K_f * \frac{M_{fcrit} C}{I} \quad (15)$$

$$C = \frac{d}{2} \quad (16)$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad (17)$$

Se sustituye (16) y (17) en (15):

$$\sigma = K_f * \frac{32 M_{fcrit}}{\pi d^3} \quad (18)$$

Donde  $K_f$  (concentrador de esfuerzos)

$$K_f = 1 + q * (K_T - 1) \quad (19)$$

“ $q$ ”, se obtiene del anexo I

“ $K_T$ ”, se obtiene del anexo J

Se sabe que para estimar que el eje no fallará por flexión, el factor de seguridad debe ser mayor que 1.

$$n = \frac{S_{ut}}{\sigma} \quad (20)$$

Para el análisis debido a momento torsor (según shigley 8va edicion, pag. 105), tenemos:

$$\tau = K_f * \frac{M_T r}{J} \quad (21)$$

Sabiendo que:

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \quad (22)$$

$$r = \frac{d}{2} \quad (23)$$

Haciendo (22) y (23) en (21):

$$\tau = K_f \frac{16M_T}{\pi d^3} \quad (24)$$

Para definir que el eje no fallará por torsión, el factor de seguridad debe ser mayor que 1.

$$n = \frac{S_{ut}}{\tau} \quad (25)$$

### **Pernos:**

Para el caso del molino de cuchillas, se presenta una fuerza centrífuga sobre los pernos de las cuchillas rotatorias, ya que están sometidas a una velocidad angular. Por dinámica se tiene que:

$$P = m_c * r * \omega_c^2 \quad (26)$$

Donde:

P: Carga resultante externa al perno, debido a inercia de cuchillas

r: Radio desde centro del eje al perno

$\omega_c$ : Velocidad angular de la polea conducida.

La fuerza límite  $F_p$  en pernos, se obtiene por la ecuación (según shigley 8va edición, pág. 427):

$$F_p = A_t * S_p \quad (27)$$

La fuerza de precarga  $F_i$ , para conexiones no permanentes, viene dada por la ecuación (según shigley 8va edición, pág. 427):

$$F_i = 0.75 * A_t * S_p \quad (28)$$

Para calcular el esfuerzo total sobre el perno, aplicamos el análisis de esfuerzo de Von Mises Hencky, que viene dado por la ecuación (según shigley 8va edición, pág. 215):

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma)^2 + 3(\tau)^2} \quad (29)$$

Ademas, según shigley 8va edición, pág. 216

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (30)$$

Para asegurar que el perno no falle, debe cumplirse  $n > 1$ .

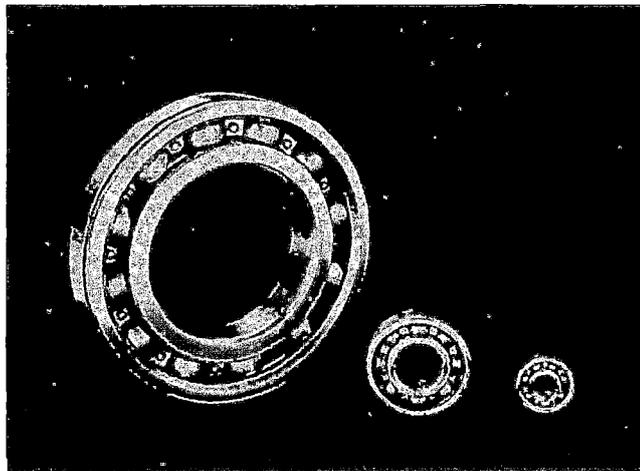
### **Rodamientos**

Es el conjunto de esferas que se encuentran unidas por un anillo interior y uno exterior, el rodamiento produce movimiento al objeto que se coloque sobre este y se mueve sobre el cual se apoya.

Los rodamientos (**Figura N° 2.2-6**), se denominan también cojinetes no hidrodinámicos. Teóricamente, estos cojinetes no necesitan lubricación, ya que las bolas o rodillos ruedan sin deslizamiento dentro de una pista. Sin embargo, como la velocidad de giro del eje no es nunca exactamente constante, las pequeñas aceleraciones producidas por las fluctuaciones de velocidad producen un deslizamiento relativo entre bola y pista. Este deslizamiento genera calor. Para disminuir esta fricción se lubrica el

rodamiento creando una película de lubricante entre las bolas y la pista de rodadura. Las bolas, en su trayectoria circular, están sometidas alternativamente a cargas y descargas, lo que produce deformaciones alternantes, que a su vez provocan un calor de histéresis que habrá que eliminar. Dependiendo de estas cargas, el cojinete se lubricará simplemente por grasa o por baño de aceite, que tiene mayor capacidad de disipación de calor.

**Figura N° 2.2-6 RODAMIENTOS**



Fuente: [www.rodamientosalcazar.com](http://www.rodamientosalcazar.com)

### **Tipos de rodamientos**

- ✓ **Rodamientos rígidos de bolas:** Robustos, versátiles y silenciosos. Pueden funcionar a altas velocidades y son fáciles de montar. Los rodamientos de una hilera también están disponibles en versiones obturadas; están lubricados de por vida y no necesitan mantenimiento. Los rodamientos de una hilera con escote de llenado y los de dos hileras son adecuados para cargas pesadas.
- ✓ **Rodamientos de bolas a rótula:** Insensibles a la desalineación angular. También disponibles en versiones obturadas y lubricadas de

por vida, para un funcionamiento sin mantenimiento. Los rodamientos montados en manguitos de fijación y alojados en soportes de pie SKF proporcionan unas disposiciones económicas.

- ✓ **Rodamientos de sección estrecha:** Son compactos, rígidos y ahorran espacio. Pueden soportar cargas combinadas. También disponibles en versiones obturadas para un mantenimiento sencillo.
- ✓ **Rodamientos de rodillos cilíndricos:** Pueden soportar pesadas cargas radiales a altas velocidades. Los rodamientos de una sola hilera tienen una geometría interna optimizada que aumenta su capacidad de carga radial y axial, reduce su sensibilidad a la desalineación y facilita su lubricación. Los Rodamientos completamente llenos de rodillos incorporan el máximo número de rodillos y no tienen jaula, están diseñados para cargas muy pesadas y velocidades moderadas.
- ✓ **Rodamiento de rodillo a rotula:** Robustos rodamientos autoalineables que son insensibles a la desalineación angular. Ofrecen una gran fiabilidad y larga duración incluso en condiciones de funcionamiento difíciles. Disponibles con obturaciones para un funcionamiento libre de mantenimiento.
- ✓ **Rodamientos de agujas:** Su baja sección transversal los hace adecuados para espacios radiales limitados. Pueden soportar cargas radiales pesadas. La amplia variedad de diseños, incluyendo

rodamientos combinados para cargas radiales y axiales, permite unas disposiciones de rodamientos sencillas, compactas y económicas.

- ✓ **Rodamientos de bolas con contacto angular:** Diseñado para cargas combinadas, proporcionan unas disposiciones de rodamientos rígidas. Los rodamientos de dos hileras, también disponibles con obturaciones, simplifican las disposiciones ya que pueden soportar y fijar un eje en ambas direcciones. Los rodamientos de bolas con cuatro puntos de contacto ahorran espacio cuando las cargas axiales actúan en ambas direcciones.
- ✓ **Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos:** Pueden soportar cargas axiales pesadas de simple efecto. Rígidos y también insensibles a las cargas de impacto. Se pueden obtener disposiciones muy compactas si los componentes adyacentes pueden servir como caminos de rodadura.
- ✓ **Rodamientos axiales de bolas:** Diseñados para cargas puramente axiales. Están disponibles diseños de simple y doble efecto, así como con contraplacas esféricas para compensar los errores de alineación. Estos rodamientos son desarmables, para facilitar el montaje.
- ✓ **Rodamientos de rodillos cónicos:** Diseñados para pesadas cargas combinadas. Las excelentes relaciones capacidad de carga/sección transversal proporcionan unas disposiciones de rodamientos económicas.

- ✓ **Rodamientos axiales de rodillos a rótulas:** Robustos rodamientos autoalineables, insensibles a la desalineación angular. Pueden soportar fuertes cargas axiales. También pueden soportar cargas radiales de hasta un 55% de la carga axial actuando simultáneamente. Ofrecen una alta fiabilidad y gran duración, incluso en condiciones de funcionamiento difíciles. El diseño desarmable facilita el montaje.
- ✓ **Rodamientos axiales de agujas:** Pueden soportar cargas axiales pesadas en una dirección. Rígidos e insensibles a las cargas de impacto. La baja sección transversal proporciona unas disposiciones de rodamientos muy compactas. Si se pueden mecanizar caminos de rodadura en las piezas adyacentes, la corona de agujas axial puede servir de rodamiento y requiere poco espacio.

La ecuación para obtener la vida de fatiga de un rodamiento (Según Shigley 8va edición, pág. 577), viene dada por:

$$L_n = a_1 * a_2 * a_3 \left(\frac{C}{P}\right)^P * \frac{10^6}{60n} \quad (31)$$

Donde:

a<sub>1</sub>: Factor de corrección para la fiabilidad

a<sub>2</sub>: Factor de corrección para el material

a<sub>3</sub>: Factor de corrección para condiciones de funcionamiento.

P: carga a la que va a estar sometida el rodamiento

C: carga básica

n: velocidad de rotación del eje (en RPM)

p: factor que depende del tipo de rodamiento (p=3, para rodamiento de bolas)

Para el cálculo de la fuerza que transmite la polea conductora al eje, analizamos de la ecuación (9):

$$M_T = 9.55 \frac{H}{n}, \text{ y sabiendo que } M_T = P_k \times r$$

Entonces:

$$P_k = \frac{9550000 \cdot H}{n \cdot r} \quad (32)$$

Donde:

$P_k$ : Fuerza transmitida por la polea conductora sobre el eje

H: potencia transmitida en KW

r: radio de polea conductora en "mm"

La carga real  $K_b$  sobre el eje de la polea, se calcula por medio de la ecuación (<http://www.nose-seiko.co.jp/esp/image/pdf/s01.pdf>):

$$K_b = f_b \cdot P_k \quad (33)$$

Es importante considerar el factor de carga  $f_w$ , ya que la carga  $K_b$  (teórico), muchas veces resulta mucho menor que los datos reales, por lo tanto la carga  $K$  viene dada (según <http://www.nose-seiko.co.jp/esp/image/pdf/s01.pdf>):

$$K = f_w \cdot K_b \quad (34)$$

$f_w$ : se obtiene del anexo "O"

- **Chaveta**

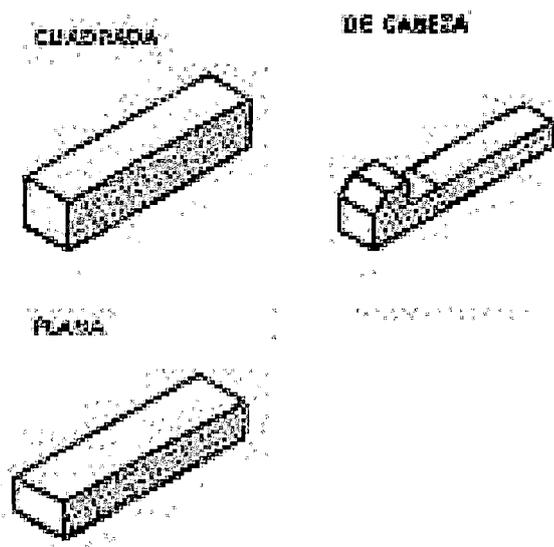
Una chaveta es una pieza de metal colocada de tal manera que parte de ella quede dentro de una ranura hecha en el eje, que se llama chavetero.

Después del montaje, la chaveta queda parcialmente en el eje y parcialmente en el cubo, uniendo a las dos piezas de modo que no pueda girar una sin la otra.

### **Tipos de Chavetas**

La chaveta más simple, geoméricamente, es la de la sección cuadrada, que se coloca con una mitad en el eje y la otra en el cubo. Una chaveta plana o aplanada es de sección rectangular y se emplea de la misma manera que la cuadrada. La chaveta de cabeza o talón o gancho es acuñada. En la **Figura N° 2.2-7**, se observan los distintos tipos de chavetas, usados en las industrias.

**Figura N° 2.2-7 Tipos de chavetas**



Fuente: [www.ditbutec.es.tl](http://www.ditbutec.es.tl)

### **2.3 Marco Normativo:**

- AWS D1.1 (American Welding Society), señala las principales consideraciones para el proceso de soldadura.
- SAE J1199, propiedades mecánicas de los pernos métricos.
- DIN 2215, secciones típicas de correas de transmisión en V.
- DIN 2211, poleas estándares para correas de transmisión en V.
- ANSI B17.1, estandariza el tamaño de las chavetas en función al diámetro del eje de transmisión.
- ASME B106. 1M-1985, diseño de ejes de transmisión.
- ASTM A36, Material utilizado para la fabricación del armazón del Molino.

## CAPÍTULO III

### VARIABLES E HIPÓTESIS

#### 3.1 Variables de la investigación

##### 3.1.1 Variable independiente:

“Diseño de un Molino de cuchillas”

##### 3.1.2 Variable dependiente:

“Plástico HDPE molido”

#### 3.2 Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Independiente: Diseño Molino de Cuchillas	Cálculo de Sistema de transmisión	Potencia de motor (HP)
		Velocidad en el eje
		Diámetro de eje principal
		Diámetro de Poleas
	Cantidad de correas de transmisión	
	Selección de cuchillas y tamiz	selección
Variable Dependiente: Plástico Solido Molido	Factibilidad del diseño	Rentabilidad y disposición
	Capacidad productiva y granulometría	Producción

### **3.3 Hipótesis**

#### **3.3.1 Hipótesis general:**

- Con el diseño de un molino de cuchillas de 300kg/h, se logrará obtener plástico molido con granos de 4mm, para el Grupo Dimarsa SAC.

#### **3.3.2 Hipótesis específicas**

- Con una adecuada selección de cuchillas y tamiz, se obtendrá una granulometría final de 4mm de HDPE.
- Con el cálculo del sistema de transmisión, se logrará la capacidad productiva deseada del molino de cuchillas.
- Con el análisis Técnico – Económico, se verificará la factibilidad del diseño del molino.

## CAPÍTULO IV

### METODOLOGÍA

#### 4.1 Tipo de investigación

Tipo: "Investigación tecnológica".

Nivel: "Descriptivo"

#### 4.2 Diseño de la investigación

Diseño no experimental

##### 4.2.1 Parámetros básicos de la investigación

El molino a diseñar, debe de producir 300kg/h, de plástico solido HDPE molido en granos de 4mm (determinados por un tamiz de 4mm).

##### 4.2.2 Detalles de la investigación

###### **Etapas I (Etapas de diseño):**

Para este diseño es razonable considerar la velocidad para la búsqueda de parámetros. A continuación se anexa la **Tabla Nº 4.2-1 Velocidades Periféricas para la molienda**, la cual posee rangos de velocidades usados en las moliendas de plásticos, con ello se logra un rendimiento apropiado del equipo (molino de cuchillas), para la obtención de granulometrías específicas.

**Tabla N° 4.2-1 Velocidades Periféricas para la molienda**

<b>Rango de Velocidades</b>	<b>Uso</b>	<b>Producto a Obtención</b>
De 6 a 10 m/s	Machaqueo o Primario	De bloques a piedras pequeñas de 2 in
De 10 a 40 m/s	Molienda Gruesa	Hasta obtenciones de 5 mm
De 40 a 80 m/s	Molienda Media	Hasta obtenciones de 100 $\mu$ m
De 80 a 150 m/s	Molienda Ultra fina	Hasta obtenciones por debajo de 5 $\mu$ m

Fuente: Quero, J. (2011)

Como la granulometría a obtener para este tipo de molino es de 4 mm, entonces, de acuerdo a la tabla 4.2-1 estamos en presencia de una molienda gruesa, por lo tanto, se tiene que  $V=10-40\text{m/s}$ . Según el catalogo del fabricante WEG, los motores eléctricos trifásicos se presentan en revoluciones de 900, 1200, 1800 y 3600 RPM. De acuerdo a entrevistas realizadas a expertos en el área, estas máquinas funcionan a velocidades de 1800 RPM y las poleas conductoras deben ser de diámetro mínimo para asegurar la transmisión.

Teniendo la velocidad periférica y la velocidad rotacional, se calcula el radio de la polea menor "r". Por dinámica tenemos:

$$V = \omega * r \rightarrow r = \frac{V}{\omega} \quad (1)$$

$$\omega = 1800 \text{ rev/s} * \frac{2\pi}{60 \text{ s}} = 188.5 \text{ rad/s}$$

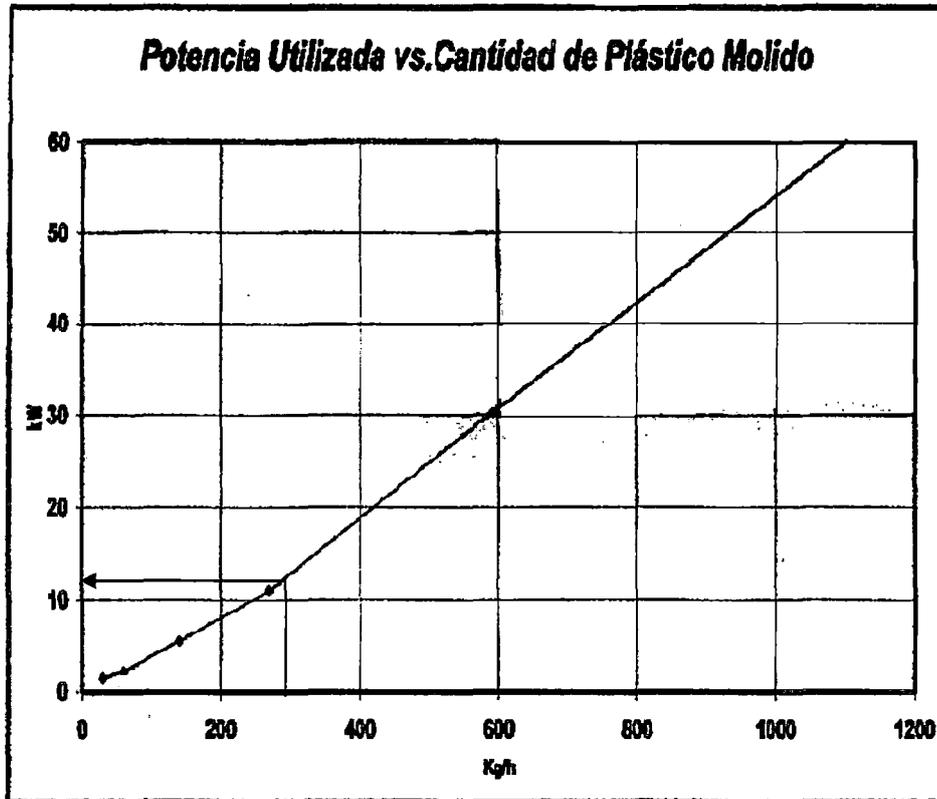
Con fines de seleccionar una polea de 6" de diámetro (como las maquinas importadas similares) , tomamos  $V=14\text{m/s}$ . Entonces:

$$r = \frac{14 \text{ m/s}}{188.5 \text{ rad/s}} = 0.074 \text{ m} \rightarrow \mathbf{74 \text{ mm}}$$

Por lo tanto el diámetro de la polea menor es  $\mathbf{d = 148 \text{ mm}}$

Otro factor importante que debe considerarse para el diseño del molino es la capacidad de molienda. A continuación se muestra la **Figura N° 4.2-1**, con los valores típicos de la potencia requerida en función de las capacidades de molienda.

Figura N° 4.2-1 Potencia Requerida Vs Capacidad de Molienda



Fuente: Cantos, M. (2005)

Para este diseño, se requiere una capacidad de molienda de 300 Kg/h. En el gráfico se puede observar que para esta capacidad se requiere una potencia de 11 KW, lo que equivale aproximadamente a 14.745 hp.

Se realiza el cálculo de la potencia corregida, según:

$$PC = P \times F_{cp} \quad (2)$$

De la tabla 2.4 se observa que  $F_{cp}=1.3$ .

Entonces:  $PC = 14.745 \times 1.3 = 18.82 \text{ hp}$

Según catálogo de motores WEG, los motores se presentan entre 15 y 20hp, por tanto seleccionamos un motor de **20hp**.

Con este resultado procedemos a recalcular los datos:

Según catálogo de Motores (WEG), para un Motor de 20HP y 1800 RPM, se transmite a la polea menor 1755RPM.

Entonces:

$$\omega = 1755 \text{ rev/s} * \frac{2\pi}{60 \text{ s}} = 183.8 \text{ rad/s}$$

$$r = \frac{14 \text{ m/s}}{183.8 \text{ rad/s}} = 0.076 \text{ m} \rightarrow \mathbf{76 \text{ mm}}$$

Por lo tanto el diámetro de la polea conductora es **d = 152 mm ≈ 6"**

- **Selección de las Bandas**

Estos molinos utilizan Bandas en V, por lo tanto se seleccionara el tipo y número requerido de estas, tomando en cuenta los diámetros de las poleas, las velocidades de rotación y la distancia entre centros de las poleas.

De acuerdo a entrevistas realizadas a expertos en este tipo de máquinas, se obtuvo que la relación de transmisión (d/D) con la que trabajan esta entre 0.3 y 0.4, por lo tanto se tomará un diámetro de la polea conducida D = 400mm. (≈16").

La distancia entre centros C para transmisiones de banda en V no debe ser mayor a 3 veces la suma de los diámetros de las poleas o menor que el diámetro de la polea mayor,

$$D \leq C \leq 3(D + d)$$

$$400 \leq C \leq 1656$$

Por lo que para se asume C = 600mm. Ambas poleas serán de aluminio.

Para usar las tablas más fácilmente se tomarán los valores de los diámetros de las poleas en pulgadas, ya que estas se encuentran en sistema inglés.

Los datos a usar son los siguientes:

$$D = 400 \text{ mm} \rightarrow 15.75 \text{ pulg}$$

$$d = 152 \text{ mm} \rightarrow 6 \text{ pulg}$$

$$\omega = \omega_p = 1755 \text{ RPM}$$

$$C = 600 \text{ mm} \rightarrow 23.6 \text{ pulg}$$

$$\text{Pot} = 20 \text{ hp}$$

Ahora se calcula la velocidad de rotación de la polea mayor  $\omega_c$  por la relación:

$$\omega_p * d = \omega_c * D \rightarrow \omega_c = \frac{(\omega_p * d)}{D} \quad (3)$$

$$\omega_c = \frac{1755 \text{ RPM} * 6 \text{ Pulg}}{15.75 \text{ Pulg}} = 668.57 \text{ RPM} \rightarrow 70 \text{ rad/s}$$

Según anexo A, para una potencia de 20hp, le corresponde una sección de banda "B", con un ancho **a=17mm** (21/32") y un espesor **s=11mm** (7/16").

Se calcula la longitud de paso  $L_P$  de la banda:

$$L_P = 2C + 1.57(D + d) + \frac{(D-d)^2}{4C} \quad (4)$$

$$L_P = 2(23.6) + 1.57(15.75 + 6) + \frac{(15.75 \text{ Pulg} - 6 \text{ Pulg})^2}{4(23.6 \text{ Pulg})} = 82.36 \text{ pulg}$$

Por el Anexo B, la circunferencia interior de la banda es aprox. 83 Pulg, por lo tanto la banda seleccionada es una **B83**.

La longitud de paso corregida  $L_{Pc}$  de la banda se obtiene a través del Anexo C, sumándole la cantidad correspondiente al tipo de sección:

$$L_{Pc} = 82.5 + 1.8 = 84.3 \text{ pulg}$$

Para el cálculo del número de bandas se debe determinar el ángulo de contacto de la polea menor:

$$\theta_d = \pi - 2 \sin^{-1} \left[ \frac{D-d}{2c} \right] \quad (5)$$

$$\theta = \pi - 2 \sin^{-1} \left[ \frac{15.75 \text{ pulg} - 6 \text{ pulg}}{2(23.6 \text{ pulg})} \right] = 2.725 \text{ rad} \rightarrow 156.13^\circ$$

Como el ángulo de contacto es menor que  $180^\circ$ , entonces por el Anexo D se obtiene el factor de corrección del ángulo de contacto  $K_1 = 0.80$  y por el anexo E el factor de corrección de longitud de banda  $K_2=1$ .

La velocidad lineal en Pies/min se obtiene por la ecuación:

$$V = \frac{\pi * d * \omega_p}{12}$$

$$V = \frac{\pi * 5.98 \text{ Pulg} * 1755 \text{ RPM}}{12} = 2756.754 \text{ Pies/min}$$

Con esta velocidad se obtiene la potencia nominal  $H_{tab}$  por el Anexo F:

$$H_{tab} = 3.75 \text{ hp}$$

Se calcula la potencia de diseño  $H_d$  y la potencia corregida  $H_a$ :

$$H_d = K_1 * Pot \quad (6)$$

$$H_d = 0.80 * 20 \text{ hp} = 16 \text{ hp}$$

$$H_a = K_1 * K_2 * H_{tab} \quad (7)$$

$$H_a = 0.80 * 1 * 3.75 \text{ hp} = 3 \text{ hp}$$

El número de bandas  $N_b$  se obtiene por la ecuación:

$$N_b = \frac{H_d}{H_a} \quad (8)$$

$$N_b = \frac{16 \text{ hp}}{3 \text{ hp}} = \mathbf{5 \text{ Bandas.}}$$

Un total de **5** bandas **B83** se requerirán para transmitir la potencia de un **motor de 20 hp**.

- **Calculo del eje de transmisión**

De acuerdo a entrevistas hechas a expertos en el área y consultas bibliográficas realizadas, el material del eje será de acero AISI 1045 HR (véase el Anexo G). Este acero posee una resistencia a la fluencia  $S_y = 310$  MPa y una resistencia última  $S_{ut} = 570$  MPa, resistencia a la tensión  $S_n = 82$  Kpsi (565.37MPa)

Se calcula el par de torsión o momento torsor máximo al cual va estar sometido el eje.

$$M_T = 9.55 * \frac{H}{n} \quad (9)^5$$

$$H = 20 \text{ hp} \rightarrow 14914 \text{ W}$$

$$n = 668.57 \text{ RPM (Velocidad angular de polea conducida).}$$

$$M_T = 9.55 * \frac{14919 \text{ W}}{668.57 \text{ PRM}} = \mathbf{213 \text{ N} * m < > 1885.21 \text{ lb.plg}}$$

---

<sup>5</sup> Pag.41

En el punto de conexión con la polea conducida, no se presentan esfuerzos de flexión antes de la polea, por lo que  $M=0$ .

Reemplazando en la ecuación 14<sup>6</sup>:

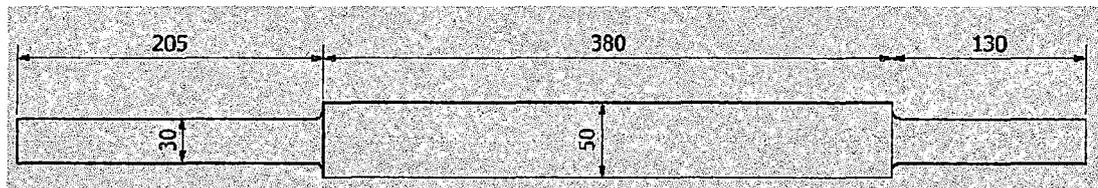
$$d = \sqrt[3]{\frac{32x3}{\pi} \times \sqrt{\frac{3}{4} \left(\frac{1885.21}{45000}\right)^2}} = 1.035 \text{ plg} \rightarrow 26.3 \text{ mm}$$

Por tanto elegimos un diámetro de eje **d= 30mm**.

De la ecuación 12<sup>7</sup>, sugerimos un chaflán bien redondeado, entonces  $D=45\text{mm}$ , para estandarizar elegimos **D=50mm**

Por lo tanto, el eje de transmisión a utilizar para el diseño del molino tendrá las dimensiones mostradas en la **Figura N° 4.2-2**.

**Figura N° 4.2-2 Diseño del eje de transmisión**



Fuente: Elaboración propia

- **Soportes porta-cuchillas rotatorias**

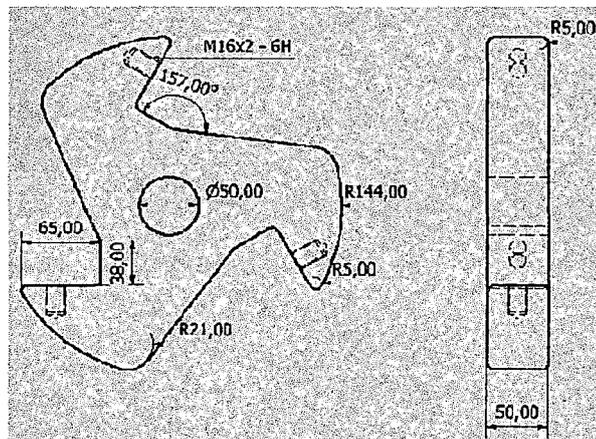
Estos molinos poseen unos soportes porta-cuchillas soldados al eje de transmisión (ver

**Figura N° 4.2-3**). Para este diseño se utilizarán 3 soportes de acero AISI 1045 HR (véase anexo G), con las siguientes dimensiones (tomadas en planta dimarsa sac).

<sup>6</sup> Pág. 43

<sup>7</sup> Pág.41

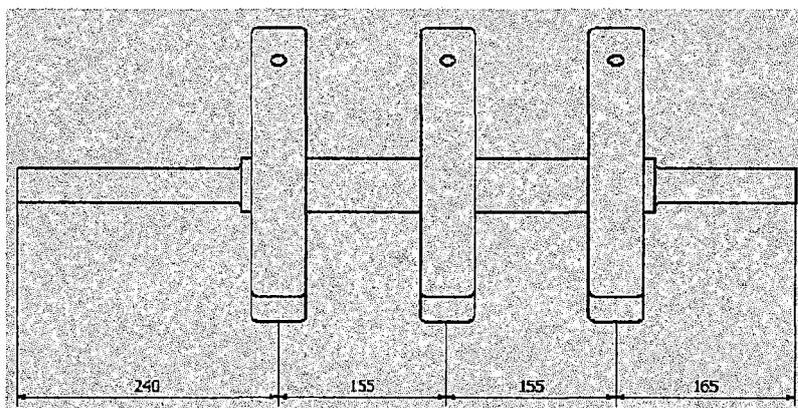
**Figura N° 4.2-3 Diseño de soporte de cuchillas**



Fuente: Elaboración propia

Estos soportes estarán dispuestos sobre el eje de transmisión, como se muestra en la **Figura N° 4.2-4**.

**Figura N° 4.2-4 Disposición de soportes en eje**



Fuente: Elaboración propia

Por medio de un software (Inventor 2012) se calculó la masa del eje de transmisión  $m_e$ , y la masa de cada soporte  $m_s$ :

$$m_e = 8 \text{ Kg}$$

$$m_s = 13.6 \text{ Kg}$$

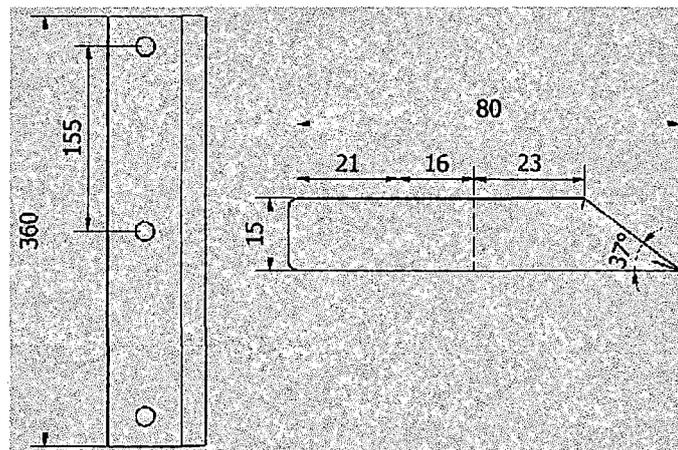
Por ser 3 soportes entonces la masa total de los soportes  $m_{ts}$  es:

$$m_{ts} = 3 * 13.6 \text{ Kg} = 40.8 \text{ Kg}$$

- **Cuchillas**

De acuerdo a la visita técnica realizada a la empresa DIMARSA SAC y a través de consultas realizadas a expertos en el área, el materiales, que se tomará para este diseño es un acero especial AISI D2 templado en agua a 980 °C (véase Anexo H). Así mismo este diseño contará con 3 cuchillas rotatorias (ver Figura N° 4.2-5) y 2 cuchillas fijas (ver Figura N° 4.2-6). Las primeras dispuestas sobre el eje de transmisión mediante los soportes y sujetadas por pernos. Las segundas<sup>8</sup> Ligeramente inclinadas 3° con respecto al eje del rotor (efecto tijera) y ajustables para mantener el espacio óptimo con las cuchillas rotatorias. Las dimensiones de estas cuchillas se muestran a continuación:

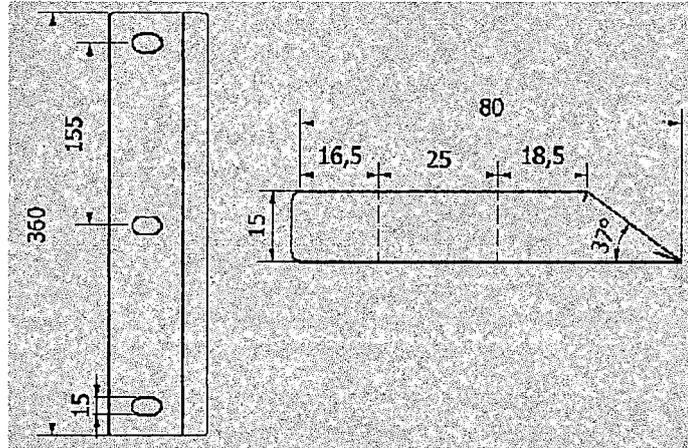
**Figura N° 4.2-5 Cuchilla rotatoria**



Fuente: Elaboración propia

<sup>8</sup> María E. Cantos Muñoz, Rediseño de un molino para plásticos de construcción nacional, pag. 108

**Figura N° 4.2-6 Cuchilla fija**



Fuente: Elaboración propia

Por medio de un software (Inventor 2012) se calculó la masa de cada cuchilla  $m_c$ :

$$m_1 = 5.86 \text{ Kg (masa de cuchilla rotatoria)}$$

$$m_2 = 4 \text{ Kg (masa de cuchilla fija)}$$

La masa total de las cuchillas rotatorias  $m_{cr}$  es:

$$m_{cr} = 3 * 5.86 \text{ kg} = 17.6 \text{ Kg}$$

La masa total de las cuchillas fijas  $m_{cf}$  es:

$$m_{cf} = 2 * 4 \text{ kg} = 8 \text{ Kg}$$

### **Análisis estático del eje de transmisión**

En este análisis se estudiará la resistencia del eje de transmisión utilizando por concentración de esfuerzo y teoría de fallas. Para dicho estudio se debe tomar en cuenta las cargas que actúan sobre el eje, el peso de los soportes  $P_s$  y de las cuchillas rotatorias  $P_c$ :

Se procede a calcular el peso de los soportes  $P_s$ :

$$P_s = m_{ts} * g$$

$$P_s = 40.8 \text{ Kg} * 9.8 \text{ m/s}^2 = 400 \text{ N}$$

Así mismo el peso de las cuchillas rotatorias  $P_c$ :

$$P_c = m_{cr} * g$$

$$P_c = 17.6 \text{ Kg} * 9.8 \text{ m/s}^2 = 173 \text{ N}$$

La carga total  $P_{total}$  es:

$$P_{total} = P_s + P_c$$

$$P_{total} = 400 \text{ N} + 173 \text{ N} = 573 \text{ N}$$

Esta carga está distribuida a lo largo de los 380 mm (0.38 m), por lo tanto la carga distribuida  $w$  es:

$$w = \frac{P_{total}}{0.38 \text{ m}}$$

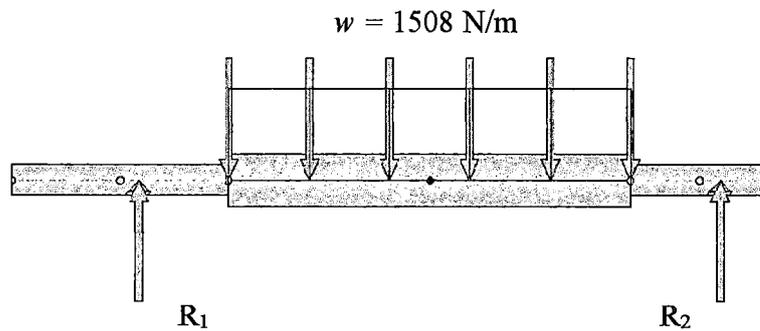
$$w = \frac{573 \text{ N}}{0.38 \text{ m}} = 1508 \text{ N/m}$$

La carga puntual  $Q$  viene dada por:

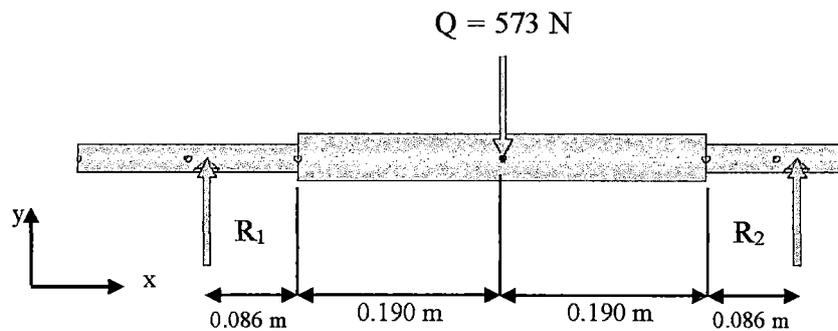
$$Q = 0.38 \text{ m} * w$$

$$Q = 0.38 \text{ m} * 1508 \text{ N/m} = 573 \text{ N}$$

Se realiza el estudio de vigas:



Se calculan las reacciones  $R_1$  y  $R_2$  de los apoyos:



Por sumatoria de fuerza:

$$+\uparrow \sum F_y = 0: R_1 - 573 \text{ N} + R_2 = 0$$

$$R_1 + R_2 = 573 \text{ N}$$

Por sumatoria de momento en el apoyo 1:

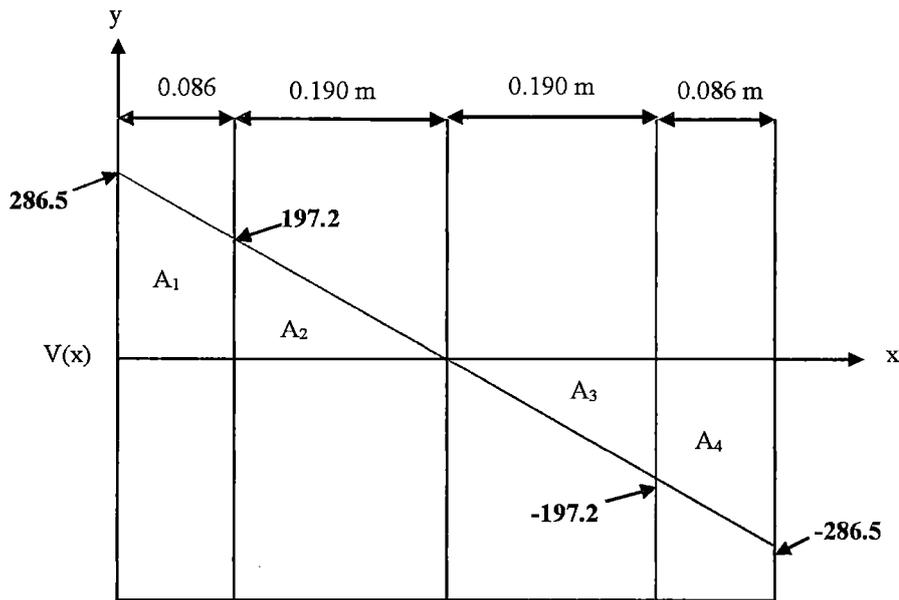
$$\curvearrow + \sum M_1 = 0: R_2 * (0.552 \text{ m}) - 573 \text{ N} * (0.276 \text{ m}) = 0$$

$$R_2 = \frac{573 \text{ N} * (0.276 \text{ m})}{(0.552 \text{ m})} = 286.5 \text{ N}$$

Sustituyendo en la expresión anterior, se tiene:

$$R_1 = 573 \text{ N} - 286.5 \text{ N} = 286.5 \text{ N}$$

Diagrama  $V(x)$  de esfuerzo cortante:



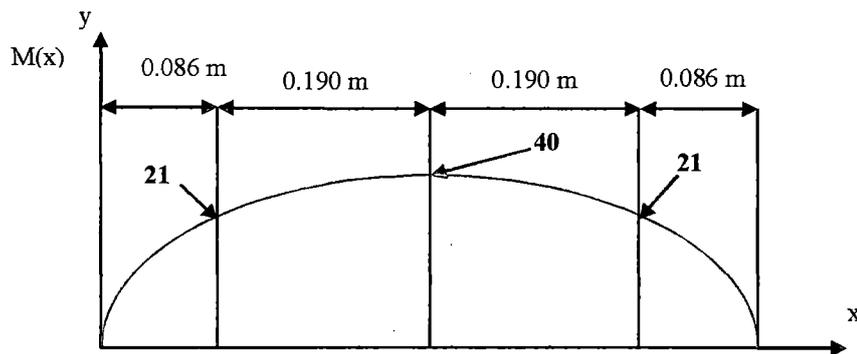
Se calculan las áreas para realizar el diagrama  $M(x)$  de momento flector:

$$A_1 = A_4 = (b * h) + \left(\frac{b * h}{2}\right)$$

$$A_1 = A_4 = (0.086 \text{ m} * 197.2 \text{ N}) + \left(\frac{0.086 \text{ m} * (286.5 - 197.2) \text{ N}}{2}\right) = 21 \text{ N} * \text{m}$$

$$A_2 = A_3 = \left(\frac{b * h}{2}\right)$$

$$A_2 = A_3 = \left(\frac{0.190 \text{ m} * 197.2 \text{ N}}{2}\right) = 19 \text{ N} * \text{m}$$



Del diagrama  $M(x)$  se tiene el momento flector máximo  $M_{f\text{m}\acute{a}\text{x}}$  y el momento flector cr\`{i}tico  $M_{f\text{c}\text{r}\text{i}\text{t}}$ :

$$M_{\text{máx}} = 40 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{crít}} = 21 \text{ N} \cdot \text{m}$$

➤ **Concentración de esfuerzo**

a) Debido al momento flector:

En este caso se trabaja con el momento flector crítico  $M_{\text{crít}}$  y con el diámetro menor del eje  $d = 0.030 \text{ m}$ , puesto que es donde se produce el cambio de sección y es más probable que el elemento falle.

De la ecuación (18):

$$\sigma = K_f \cdot \frac{32(21 \text{ N}\cdot\text{m})}{\pi(0.030 \text{ m})^3} = K_f \cdot 7.9 \text{ Mpa}$$

Por el Anexo I y con los valores de la resistencia última  $S_{\text{ut}} = 570 \text{ MPa}$  y radio de la muesca  $r = 5 \text{ mm}$ , se obtiene la sensibilidad al entalle:

$$q = 0.82$$

El concentrador teórico  $K_T$  se obtiene por el Anexo J y teniendo los siguientes datos:

$$r = 5 \text{ mm}$$

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$D = 50 \text{ mm}$$

Siendo  $D$  y  $d$  el diámetro mayor y menor del eje respectivamente entonces:

$$r/d = \frac{5 \text{ mm}}{30 \text{ mm}} = 0.17$$

$$D/d = \frac{50 \text{ mm}}{30 \text{ mm}} = 1.67$$

Con esto se tiene que:

$$K_T = 1.55$$

Se sustituyen estos valores en la ecuación (19):

$$K_f = 1 + 0.82 * (1.55 - 1) = 1.45$$

Este valor se sustituye en (18):

$$\sigma = 1.45 * 7.9 \text{ Mpa} = 11.5 \text{ Mpa}$$

Se calcula el factor de seguridad, según la ecuación 20:

$$n = \frac{570 \text{ Mpa}}{11.5 \text{ Mpa}} = 50$$

Este valor indica que el elemento no fallara por flexión.

b) Debido al momento torsor:

En este caso se trabaja con el momento torsor  $M_T$  al cual está sometido el eje de transmisión y con el diámetro menor:

$$\tau = K_f * \frac{16(215 \text{ N}\cdot\text{m})}{\pi(0.030 \text{ m})^3} = K_f * 40.6 \text{ Mpa} \quad (24)$$

La sensibilidad al entalle  $q$  es la misma que la obtenida debido al momento flector, por lo tanto:

$$q = 0.82$$

El concentrador teórico  $K_T$  se obtiene por el Anexo K y con los siguientes valores:

$$r/d = 0.17$$

$$D/d = 1.67$$

$$K_T = 1.2$$

Así mismo de (19):

$$K_f = 1 + 0.82 * (1.2 - 1) = 1.16$$

Se sustituye este valor en (24):

$$\tau = 1.16 * 40.6 \text{ Mpa} = 47.1 \text{ MPa}$$

Se calcula el factor de seguridad, de la ecuación (25):

$$n = \frac{570 \text{ Mpa}}{47.1 \text{ Mpa}} = 12$$

Este valor indica que el elemento no fallara por torsión.

- **Pernos para cuchillas Rotatorias**

De acuerdo a entrevistas realizadas a expertos en el área para la sujeción de las cuchillas rotatorias en los soportes, se utilizarán pernos de cabeza hexagonal Grado SAE número 8 (clase de propiedad 8.8), rosca métrica de paso grueso, de acero de aleación de medio carbono templado y revenido con un diámetro nominal de 16 mm y una longitud del vástago de 40 mm (M16x40). Las características de este tipo de pernos se encuentran en los Anexos L y M, serán utilizados para determinar del factor de seguridad:

$$S_p = 600 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 830 \text{ MPa}$$

$$S_y = 660 \text{ MPa}$$

$$A_t = 157 \text{ mm}^2$$

$$A_r = 144 \text{ mm}^2$$

El valor de la carga externa resultante P que soportan los pernos es debido a la inercia producida por la masa de cada cuchilla por lo tanto, se aplicara la ecuación (26):

$$P = m_c * r * \omega_c^2 \quad (26)$$

Donde r en este caso es la distancia desde el centro del eje hasta el perno (del software Inventor);

$$r = 0.122 \text{ m}$$

$$\omega_c = 668.57 \text{ Rev/s} * \frac{2\pi}{60 \text{ s}} = 70 \text{ Rad/s}$$

Se sustituyen estos valores en (26):

$$P = 5.86 \text{ kg} * 0.122 \text{ m} * \left(70 \frac{\text{Rad}}{\text{s}}\right)^2 = 3503.1 \text{ N}$$

Como son 3 pernos por cada cuchilla entonces

$$P = \frac{3503.1 \text{ N}}{3} = 1167.7 \text{ N}$$

Aplicando la ecuación (27)

$$F_p = (157 * 10^{-6} \text{ m}^2) * (600 * 10^6 \text{ Pa}) = 94200 \text{ N}$$

La conexión entre las cuchillas y los soportes no son permanentes por lo tanto la fuerza de precarga  $F_i$  viene dada por:

$$F_i = 0.75 * A_t * S_p \quad (28)$$

Reemplazando (27) en (28):

$$F_i = 0.75 * 94200 \text{ N} = 70650 \text{ N}$$

Por tanto las fuerzas normales a los pernos son:

$$F_y = P_y + F_t$$

$$F_y = 1167.7 \text{ N} + 70650 \text{ N} = 71817.7 \text{ N}$$

Para el esfuerzo cortante, se tiene de la ecuación (9) y (10):

$$\tau = \frac{10x0.122}{J}$$

Para el soporte de cuchillas, según el software inventor, se tiene un momento polar de inercia de:  $J=0.3185 \times 10^{-6}$ .

Por tanto el esfuerzo cortante es:

$$\tau = \frac{10x0.122}{0.3185 \times 10^{-6}} = 3.83 \text{ Mpa} \quad (*)$$

Para el esfuerzo normal, se tiene:

$$\sigma = \frac{F_y}{A_t} \quad (**)$$

$$\sigma = \frac{71817.7 \text{ N}}{157 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 457.4 \text{ MPa}$$

Se calcula el esfuerzo de Von – Mises Hencky:

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma)^2 + 3(\tau)^2} \quad (29)$$

Reemplazando los resultados de (\*) y (\*\*) en (29):

$$\sigma' = \sqrt{(457.4 \text{ MPa})^2 + 3(3.83 \text{ MPa})^2} = 457.45 \text{ Mpa}$$

Finalmente de la ecuación (30) se calcula el factor de seguridad es:

$$n = \frac{660 \text{ Mpa}}{457.45 \text{ MPa}} = 1.44$$

El factor de seguridad es mayor que 1 lo que garantiza que los pernos escogidos no fallaran.

- **Pernos para cuchillas Fijas**

Para la sujeción de estas cuchillas se utilizaran pernos de cabeza hexagonal de Grado SAE número 8 (clase de propiedad 8.8), rosca métrica de paso grueso, de acero de aleación de medio carbono templado y revenido con un diámetro nominal de 16 mm y una longitud del vástago de 40 mm (M16x45) (véase Anexo M). Los esfuerzos a los cuales estarán sometidos estos pernos no serán considerables ya que las cuchillas estarán totalmente fijas.

- **Cálculo de Rodamientos**

Para transmisiones de potencia que se realizan mediante poleas, los expertos recomiendan que los rodamientos deben cambiarse cada dos años, bajo un periodo de trabajo de 52 semanas, 6 días a la semana y 8 horas diarias, es decir, 4992 horas de operación.

Por tanto se aplicara la ecuación (31):

$$L_n = a_1 * a_2 * a_3 \left(\frac{C}{P}\right)^P * \frac{10^6}{60n} \quad (31)$$

En este análisis para calcular la carga total P se debe tener en cuenta la fuerza transmitida por la polea sobre el eje P<sub>k</sub>, la carga que ejerce el peso

de los soportes junto con el de las cuchillas giratorias Q, el peso del eje de transmisión  $P_e$  y el peso de la polea mayor  $P_p$ .

La fuerza transmitida por las poleas se obtiene a partir de la ecuación 9 por la expresión:

$$P_k = \frac{9550000 * H}{n * r} \quad (32)$$

Donde H es la potencia transmitida (KW), r el radio del piñón (mm) y n velocidad (RPM), entonces:

$$H = 20 \text{ hp} \rightarrow 14.9 \text{ KW}$$

$$r = 76 \text{ mm}$$

$$n = 1755 \text{ RPM}$$

Se sustituyen estos valores en (34):

$$P_k = \frac{9550000 * 14.9 \text{ KW}}{1755 \text{ RPM} * 76 \text{ mm}} = 1067 \text{ N}$$

La carga real  $K_b$  se calcula por medio de la ecuación (33)

$$K_b = f_b * P_k \quad (33)$$

Según el Anexo N para correas en V se tiene que:

$$f_b = 2$$

Se sustituye en (33):

$$K_b = 2 * 1067 \text{ N} = 2134 \text{ N}$$

Para el cálculo de la carga más aproximada, usaremos la ecuación (34):

$$K = f_w * K_b \quad (34)$$

$$f_w = 1.5 \text{ ( por Anexo O)}$$

Se sustituye en (34):

$$K = 1.5 * 2134 N = 3201 N$$

Se calcula el peso del eje de transmisión  $P_e$ :

$$P_e = m_e * g$$

$$P_e = 8 Kg * 9.8 m/s^2 = 78.4 N$$

Así mismo el peso de la polea mayor  $P_p$ :

$$P_p = m_p * g$$

Donde  $m_p$  es la masa de la polea mayor, la cual se calculó por medio de un software (Inventor 2012):

$$m_p = 11 Kg$$

Entonces:

$$P_p = 11 Kg * 9.8 m/s^2 = 108 N$$

La carga puntual  $Q$  (porta cuchillas y cuchillas) es:

$$Q = 573 N$$

Con estas fuerzas se procede a determinar las reacciones en los apoyos:

✓ Por sumatoria de fuerzas

$$+ \uparrow \sum F_y = 0: R_{1y} + R_{2y} - 78.4 N - 108 N - 573 N = 0$$

$$R_{1y} + R_{2y} = 759.4 N \quad (\alpha)$$

$$+ \rightarrow \sum F_z = 0: -R_{1z} - R_{2z} + 3201 N = 0$$

$$R_{1z} + R_{2z} = 3201 \text{ N} \quad (b)$$

✓ Por sumatoria de momentos en el apoyo 1

$$\curvearrowright \sum M_{1(x-y)} = 0: 108 \text{ N} * (0.08 \text{ m}) - (78.4 \text{ N} + 573 \text{ N}) * (0.276 \text{ m}) + R_{2y} * (0.552 \text{ m}) = 0$$

$$R_{2y} = \frac{(78.4 \text{ N} + 573 \text{ N}) * (0.276 \text{ m}) - 108 \text{ N} * (0.08 \text{ m})}{(0.552 \text{ m})} = 310 \text{ N}$$

$$\curvearrowright \sum M_{1(z-x)} = 0: 3201 \text{ N} * (0.08 \text{ m}) + R_{2z} * (0.552 \text{ m}) = 0$$

$$R_{2z} = \frac{-3210 \text{ N} * (0.08 \text{ m})}{(0.552 \text{ m})} = -464 \text{ N}$$

Se sustituyen estos valores en (a) y (b) tenemos:

$$R_{1y} = 759.4 \text{ N} - 310 \text{ N} = 449.4 \text{ N}$$

$$R_{1z} = 3210 \text{ N} - (-464 \text{ N}) = 3674 \text{ N}$$

El apoyo 1 es el más crítico, su fuerza resultante ( $F_{1R}$ ) viene dada por:

$$F_{1R} = \sqrt{R_{1z}^2 + R_{1y}^2}$$

$$F_{1R} = \sqrt{(3674 \text{ N})^2 + (449.4 \text{ N})^2} = 3701.4 \text{ N}$$

Este es el valor de la carga total P, ahora se calcula la carga básica C, despejándola de la ecuación (31), se tiene:

$$C = \sqrt[3]{\frac{L_n * P^3 * 60n}{a_1 * a_2 * a_2 * 10^6}}$$

Se tomará el valor de  $a_1 = 0.62$  (por Anexo P), para procesos en los que se usan materiales normales como el acero  $a_2 = 1$  y para temperaturas de trabajo menores a  $150\text{ }^\circ\text{C}$   $a_3 = 1$ .

Se sustituyen todos los valores en (31):

$$C = \sqrt[3]{\frac{4992 * (3701.4\text{ N})^3 * 60(668.57\text{ RPM})}{0.62 * 1 * 1 * 10^6}} = 25395.67\text{ N}$$

Como estos rodamientos van a estar sometidos a cargas radiales entonces:

$$C = C_r = 25395.67\text{ N}$$

Con estos valores y por el Anexo Q se tiene que la designación del par de rodamientos a seleccionar es **6306** del tipo abierto marca NSK. Así mismo la designación de las chumaceras es **SN 507** marca NSK (Anexo R).

- **Diseño de la chaveta**

Por entrevistas realizadas a expertos en el área, para este diseño se utilizara una chaveta cuadrada de acero ASTM A36 con una resistencia a la fluencia  $S_y = 210 \text{ MPa}$  y  $S_{sy} = 120 \text{ MPa}$  (véase Anexo T).

Por el Anexo S la chaveta tendrá un ancho  $w = 1/4 \text{ pulg}$  (6.35 mm) y una altura  $h = 1/4 \text{ pulg}$  (6.35 mm). El momento torsor al cual estará sometida esta chaveta es  $M_T = 213 \text{ Nm}$ .

Por esfuerzo cortante tenemos:

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{F}{A} = \frac{M_T}{rxwxl}$$

Despejando:

$$l = \frac{M_T n}{S_{sy} r w}$$

Ya que la polea tendrá un ancho de contacto con el eje de 101mm (según catalogo), la longitud de la chaveta no deberá exceder este valor, para aplicaciones industriales, se recomienda  $n=3$  (según Robert Mott, diseño de elementos de máquinas, pag. 500)

$$l = \frac{(213 \text{ N}\cdot\text{m})(3)}{(120 \cdot 10^6 \text{ Pa})(0.015 \text{ m})(6.35 \cdot 10^{-3} \text{ m})} = 0.056 \text{ m} \rightarrow \mathbf{56 \text{ mm}}$$

Esta sería la longitud que tendrá la chaveta, la cual no excede la longitud interna de la polea (101mm). Por otro lado, según el Anexo S, se tiene que la profundidad del chavetero será de  $1/8 \text{ pulg}$  (3 mm).

## **Etapa II (Etapa de factibilidad):**

- Factibilidad técnica:

En esta fase se determinó la disponibilidad de las técnicas para lograr cumplir con los objetivos propuestos en la investigación, a través de los resultados obtenidos mediante el diseño, la consulta de recursos bibliográficos y documentales, además se solicitó la asesoría de especialistas en la rama de ingeniería mecánica, técnicos y docentes de la universidad.

Por otro lado los materiales para la construcción del molino se encuentran en el mercado local, regional y nacional, los lugares donde se consultó en relación a la disponibilidad de los mismos fueron C&E CONTROL ELECTRIC S.A.C, COMASA, BÖLER, CORPORACION INGENIERIA METALICA, RODAMIENTOS INCOR SRL, TORNILLOS PERNOSCIM SA. Y CORREAS FM INDUSTRIAL SA.

- Factibilidad económica:
- ✓ **Costos del Molino:**

Se realizó una cotización para los elementos a usar en la elaboración del molino, las cantidades figuran en la siguiente tabla N° 4.2-2.

**Tabla Nº 4.2-2 Presupuesto para Molino (materiales)**

DESCRIPCIÓN	CANT.	P.U (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
Lamina de acero A36, espesor 6 mm (1.20x2.40 m)	5	115.3 0	576.5
Platina de acero A36, espesor 13 mm (76x426 mm)	3	5.71	17.13
Cilindro macizo de Acero AISI 1045 HR (∅ 50 mm x 1m de longitud)	1	42.55	42.55
Cilindro macizo de Acero AISI 1045 (∅ 300 mm x 150 mm de longitud)	1	75.74	75.74
Platina de acero AISI D2, espesor 15 mm (500x380 mm)	1	19.68	19.68
Rodamiento de bola NSK 6306	2	31.3	62.6
Soporte de rodamiento (chumacera) NSK SN507	2	135	270
Polea de aluminio para 5 bandas (∅ 16 pulg)	1	138	138
Polea de aluminio para 5 bandas (∅ 6 pulg)	1	65.4	65.4
Banda en V. B83	5	10	50
Perno grado 8. Paso grueso M16x40	13	0.33	4.29
Perno grado 8. Paso grueso M16x45	6	0.32	1.92
Perno Grado 8 Paso grueso M14x50	4	0.30	1.2
Tornillo ISO 7046 M10x45	6	0.20	1.2
Tuerca ISO 4035 M16	4	0.30	1.2
Motor trifásico. 20 hp, 1800 RPM, 220 V, 440 Amp.	1	5500	5500
Rueda maciza doble rolinera (∅ 8 pulg)	4	31.8	127.2
			<b>6,954.61 USD</b>

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a entrevistas realizadas a expertos en el área el costo, las máquinas y herramientas a usar representa aproximadamente el 35% del costo de los materiales. Por lo tanto el costo de las máquinas y herramientas estimadas para este diseño será de 2,434.11 USD. Así mismo según expertos el costo de los materiales consumibles (discos, soldadura, pintura, etc) a usar representa el 10% del costo de materiales. Por lo tanto el costo de los consumibles será de 695.461 USD.

Así el costo total de la maquina es:

✓ **COSTO TOTAL:**

Costo de Diseño:	\$2000
Máquinas y herramientas:	\$2,434.11
Materiales directos:	\$6,954.51
Materiales consumibles:	\$695.451
Mano de Obra:	\$600
	<hr/>
Total:	<b>\$12,684.071</b>

✓ **COSTO TOTAL DE MAQUINA IMPORTADA:**

**\$18,000.00**

Se observa un ahorro de:  **$18000 - 12,684.071 = 5,315.929$  USD**

#### **4.3 Población y muestra**

Para la presente investigación, tenemos que la muestra es igual a la población, ya que se toma como muestra las 2 máquinas que posee la empresa.

#### **4.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos**

Las principales técnicas que se utilizaron para llevar a cabo la investigación, fueron las siguientes:

<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Análisis documental	Análisis de contenido
La observación	Cámara fotográfica Valores in situ

#### **4.5 Procedimiento de recolección de datos**

Algunos datos se han tomado directamente de los equipos similares de la empresa en funcionamiento, que se detallan en los parámetros de funcionamiento o parámetros de entrada, y otros se han tomado de los archivos de la oficina de producción.

#### **4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos**

Como es una investigación de tipo tecnológica aplicada y al tener una muestra igual a la población no amerita realizar un análisis estadístico, sino un análisis de los resultados.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS

Los resultados de la investigación se muestran en el siguiente cuadro:

<b>Parámetro</b>	<b>Características</b>	<b>unidad</b>	<b>cantidad</b>	<b>dimensión</b>
Diámetro de polea motriz	Polea de aluminio para 5 bandas	pulg.		6
Diámetro de Polea conducida	Polea de aluminio para 5 bandas	pulg.		16
Potencia de motor	Motor trifásico, 1800RPM	HP		20
Diámetro de eje de transmisión	AISI 1045 HR, maquinado	mm		30-50
Soporte porta cuchillas	AISI 1045 HR, mecanizado	und	3	
Cuchillas rotatorias	AISI D2	und	3	
Cuchillas fijas	AISI D2	und	2	
Pernos cuchillas rotatorias	Perno grado 8, M16x40	und	9	
Pernos cuchillas fijas	Perno grado 8, M16x45	und	6	
Rodamiento	Rodamiento de bolas NSK6306	und	2	
Chumaceras	Chumacera NSK SN 507	und	2	
Chaveta	de acero ASTM A36 (L=36mm), chavetero ¼"	Pulg.		1/2x1/2

## CAPÍTULO VI

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 6.1 Contratación de la hipótesis con los resultados

<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	<b>RESULTADOS</b>
Con el diseño de un molino de cuchillas de 300kg/h, se lograra obtener plástico molido con granos de 4mm, para el Grupo Dimarsa SAC.	Se diseñó un molino de cuchillas de 20HP, capaz de moler 300kg/hora de plástico solido HDPE, a granos de 4mm.
<b>HIPÓTESIS ESPECIFICAS</b>	<b>RESULTADOS</b>
Con una adecuada selección de cuchillas y tamiz, se asegurara una granulometría final de 4mm de HDPE.	Se seleccionaron cuchillas y cribas, capaces de cortar y dejar pasar granos de 4mm.
Con el cálculo del sistema de transmisión, se asegura la capacidad productiva del molino de cuchillas.	Se realizó el cálculo del sistema de transmisión, para una capacidad de 300kg/hora.
Con el análisis Técnico – Económico, se asegurara la factibilidad del diseño del molino.	Los materiales empleados son adquiribles a nivel nacional, además se obtuvo un ahorro de 5,315.929 USD respecto al molino importado adquirido por importación.

## 6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares

<b>RESULTADOS</b>	<b>RESULTADOS DE OTROS ESTUDIOS</b>
Se diseñó un molino de cuchillas de 20HP, capaz de moler 300kg/hora de plástico solido HDPE, a granos de 4mm.	Se diseñó y fabricó un molino de cuchillas de 15 HP, capaz de moler 200kg/hora de plástico PET, a granos de 8mm, asegurando su correcto funcionamiento.
Se seleccionaron cuchillas y cribas, capaces de cortar y dejar pasar granos de 4mm.	La correcta disposición de las cuchillas en forma de tijera, asegura el corte continuo de plástico PET.
Se realizó el cálculo del sistema de transmisión, para una capacidad de 300kg/hora.	El diseño de los elementos de transmisión del molino de martillos a condiciones críticas, asegura su capacidad.
Los materiales empleados son adquiribles a nivel nacional, además se obtuvo que el costo del molino diseñado es \$5,315.929 menos que el molino importado.	El diseño del molino, resulta altamente rentable, debido al análisis técnico-económico.

## CAPÍTULO VII

### CONCLUSIONES

- Para cortar plástico HDPE, se diseña un molino de cuchillas
- La selección de cuchillas y tamiz, son importantes para definir la granulometría final que se requiere obtener.
- Los elementos mecánicos calculados para la transmisión del molino, fueron calculados, para una capacidad productiva requerida por el usuario final.
- Se demuestra que el molino a diseñar resulta ser tanto técnico como económicamente factible, ya que los materiales se logran encontrar en el territorio nacional y el costo de adquisición del diseño difiere del costo de importación en 5,315.929 USD.

## CAPÍTULO VIII

### RECOMENDACIONES

- Se deben cumplir con todos los elementos mecánicos seleccionados en los resultados de la presente investigación.
- La máquina debe estar encendida a la hora de introducir el plástico sólido que va a ser molido.
- Por seguridad, debe asegurarse que el molino este bien cerrado cuando se va a introducir el plástico.
- Se deberá asegurar la correcta nivelación de la maquina en el momento de la instalación.
- Se recomienda instalar un sistema para extraer el material molido de forma automática.
- Se recomienda automatizar el llenado de la máquina, haciendo uso de ciclones o transportador neumático.
- El plástico sólido debe estar previamente pre molido, libre de suciedad y agua antes de introducirlo en la máquina para su molienda.
- Se recomienda llevar un adecuado mantenimiento preventivo para todos los elementos principales del molino.

## CAPÍTULO IX

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASKELAND, DONALD. **“Ciencia e ingeniería de los materiales”**. Thomson Editores S.A. México. 2004.
  2. MOTT, ROBERT L. **“Resistencia de materiales aplicada”**. Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. 3ra Edición. 1996.
  3. MOTT, ROBERT L. **“Diseño de elementos de máquinas”**. Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana. 4ta Edición. 2006.
  4. SHIGLEY, JOSEPH. **“Diseño en ingeniería mecánica”**. McGraw-Hill Interamericana de México S.A de C.V. México. 2008.
  5. WINOGRAD MARCOS. **“Introducción al reciclado práctico de plásticos”**. Megaplastic.com, Argentina. 1ra Edición. 2004.
- 
1. CANTOS MUÑOZ, MARÍA. **“Rediseño de un molino para plásticos de construcción nacional”**. Tesis de licenciatura. Guayaquil. Escuela superior politécnica del litoral. 2005.
  2. NIÑO DE GUZMAN, DELMI. **“Diseño de un molino de martillo de doble eje”**. Tesis de licenciatura. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería. 2006.
  3. QUERO CARRASCO, JESÚS. **“Diseño de un molino para la molienda de plásticos sólidos para empresas recuperadoras”**. Tesis de licenciatura. Barquisimeto. Universidad Nacional Experimental Politécnica. 2011.

1. BOEHLER. **“Aceros especiales e inoxidables”**. Disponible en:  
[http://www.acerosbohler.com/spanish/files/downloads/K353FSP\(2\).pdf](http://www.acerosbohler.com/spanish/files/downloads/K353FSP(2).pdf). Consultada el 27 de julio del 2014.
2. DIBUTEC. **“Tipos de chavetas”**. Disponible en:  
<http://ditbutec.es.tl/SUJETADORES>. Consultada el 20 de junio del 2014.
3. NSK. **“Selección del tamaño de Rodamiento”**. Disponible en:  
[http://www.nskamericas.com/cps/rde/xbcr/na\\_es/5SELECCION\\_DEL\\_TAMANO\\_DEL\\_RODAMIENTO.pdf](http://www.nskamericas.com/cps/rde/xbcr/na_es/5SELECCION_DEL_TAMANO_DEL_RODAMIENTO.pdf). Consultada el 10 de Junio del 2014.
4. WEG. **“Motores trifásicos”**. Disponible en:  
<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-w22-motor-trifasico-tecnico-mercado-latinoamericano-50024297-catalogo-espanol.pdf>. Consultada el 15 de junio del 2014

# **ANEXOS**

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

“DISEÑO DE UN MOLINO DE CUCHILLAS DE 300 KG/H PARA LA MOLIENDA DE PLÁSTICOS SÓLIDOS HDPE. GRUPO DIMARSA SAC.-PUENTE PIEDRA”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b><u>Problema principal</u></b></p> <p>¿Cómo diseñar un Molino de cuchillas de 300kg/hora, que permita obtener plástico solido molido con granos de 4mm, para el Grupo Dimarsa SAC – Pte. Piedra?</p> <p><b><u>Problemas específicos</u></b></p> <p><b>P1:</b> ¿Cómo asegurar una correcta granulometría final del plástico molido?</p> <p><b>P2:</b> ¿Cómo desarrollar un sistema que asegure la transmisión adecuada?</p> <p><b>P3:</b> ¿Cómo asegurar que el diseño del molino para plásticos solidos sea factible?</p>	<p><b><u>Objetivo general</u></b></p> <p>Diseñar un molino de 300kg/hora que permita obtener plástico solido molido con granos de 4mm, para el Grupo Dimarsa SAC - de puente piedra</p> <p><b><u>Objetivos específicos</u></b></p> <p><b>O1:</b> Seleccionar las cuchillas y tamiz, para asegurar granos de plástico HDPE de 4mm.</p> <p><b>O2:</b> Calcular el sistema de transmisión, para asegurar la capacidad productiva requerida.</p> <p><b>O3:</b> Establecer la factibilidad Técnico – Económica para el diseño de un molino de cuchillas.</p>	<p><b><u>Hipótesis general</u></b></p> <p>Con el diseño de un molino de cuchillas de 300kg/h, se lograra obtener plástico molido con granos de 4mm, para el Grupo Dimarsa SAC.</p> <p><b><u>Hipótesis específicas</u></b></p> <p><b>H1:</b> Con una adecuada selección de cuchillas y tamiz, se asegurara una granulometría final de 4mm de HDPE.</p> <p><b>H2:</b> Con el cálculo del sistema de transmisión, se asegurara la capacidad productiva del molino de cuchillas.</p> <p><b>H3:</b> Con el análisis Técnico – Económico, se asegurara la factibilidad del diseño del molino.</p>	<p><b><u>Variable independiente</u></b></p> <p><b>X:</b> Diseño de molino de cuchillas.</p> <p><b><u>Indicadores</u></b></p> <p><b>X1:</b> Calculo del sistema de transmisión.</p> <p><b>X2:</b> Selección de cuchillas y tamiz.</p> <p><b><u>Variable Dependiente</u></b></p> <p><b>Y:</b> plástico solido molido.</p> <p><b><u>Indicadores</u></b></p> <p><b>Y1:</b> rentabilidad y disposición.</p> <p><b>Y2:</b> producción.</p>	<p><b><u>Tipo de investigación</u></b></p> <p>Tecnológica.</p> <p><b><u>Nivel</u></b></p> <p>Descriptivo</p> <p><b><u>Diseño</u></b></p> <p>No experimental</p> <p><b><u>Población y muestra</u></b></p> <p>Población = muestra</p> <p><b><u>Instrumentos</u></b></p> <p>Análisis de contenido.</p> <p>Cámara fotográfica y valores in situ.</p>

## ANEXO A: SECCIONES DE BANDAS V ESTANDAR

Sección de la banda	Ancho $a$ , pulg	Espesor $b$ , pulg	Diámetro mínimo de polea, pulg	Intervalo de potencias (hp), una o más bandas
A	$\frac{1}{2}$	$\frac{11}{32}$	3.0	$\frac{1}{4}$ -10
B	$\frac{21}{32}$	$\frac{7}{16}$	5.4	1-25
C	$\frac{7}{8}$	$\frac{17}{32}$	9.0	15-100
D	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	13.0	50-250
E	$1\frac{1}{2}$	1	21.6	100 y mayores

(Fuente: Shigley, J., diseño en ingeniería mecánica, 2008)

## ANEXO B: CIRCUNFERENCIAS INTERIORES DE BANDAS V ESTANDAR

Sección	Circunferencia, pulg
A	26, 31, 33, 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 66, 68, 71, 75, 78, 80, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128
B	35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 65, 66, 68, 71, 75, 78, 79, 81, 83, 85, 90, 93, 97, 100, 103, 105, 112, 120, 128, 131, 136, 144, 158, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300
C	51, 60, 68, 75, 81, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128, 136, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420
D	120, 128, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660
E	180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660

(Fuente: Shigley, J., diseño en ingeniería mecánica, 2008)

### ANEXO C: DIMENSIONES DE CONVERSIÓN DE LONGITUD

Sección de la banda	A	B	C	D	E
Cantidad a sumar	1.3	1.8	2.9	3.3	4.5

(Fuente: Shigley, J., diseño en ingeniería mecánica, 2008)

### ANEXO D: FACTOR DE CORRECCIÓN DEL ANGULO DE CONTACTO

$\frac{D-d}{C}$	$\theta$ , grados	VV	$K_1$ Plana en V
0.00	180	1.00	0.75
0.10	174.3	0.99	0.76
0.20	166.5	0.97	0.78
0.30	162.7	0.96	0.79
0.40	156.9	0.94	0.80
0.50	151.0	0.93	0.81
0.60	145.1	0.91	0.83
0.70	139.0	0.89	0.84
0.80	132.8	0.87	0.85
0.90	126.5	0.85	0.85
1.00	120.0	0.82	0.82
1.10	113.3	0.80	0.80
1.20	106.3	0.77	0.77
1.30	98.9	0.73	0.73
1.40	91.1	0.70	0.70
1.50	82.8	0.65	0.65

(Fuente: Shigley, J., diseño en ingeniería mecánica, 2008)

## ANEXO E: FACTOR DE CORRECCIÓN DE LONGITUD DE BANDA

Factor de longitud	Longitud nominal de la banda, pulg.				
	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 210
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-270
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-330
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 y mayor	158-180	270-300	480	540-600
1.20		195 y mayor	330 y mayor	540 y mayor	660 y mayor

(Fuente: Shigley, J., diseño en ingeniería mecánica, 2008)

## ANEXO F: POTENCIAS NOMINALES DE BANDAS EN V ESTÁNDAR

Sección de la banda	Diámetro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/min				
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 y mayor	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
7.0 y mayor	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90	
C	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.48	3.94	4.64	4.44	3.12
	8.0	2.96	4.90	6.09	6.36	5.52
	9.0	3.34	5.65	7.21	7.86	7.39
	10.0	3.64	6.25	8.11	9.06	8.89
	11.0	3.88	6.74	8.84	10.0	10.1
	12.0 y mayor	4.09	7.15	9.46	10.9	11.1
D	10.0	4.14	6.13	6.55	5.09	1.35
	11.0	5.00	7.83	9.11	8.50	5.62
	12.0	5.71	9.26	11.2	11.4	9.18
	13.0	6.31	10.5	13.0	13.8	12.2
	14.0	6.82	11.5	14.6	15.8	14.8
	15.0	7.27	12.4	15.9	17.6	17.0
	16.0	7.66	13.2	17.1	19.2	19.0
	17.0 y mayor	8.01	13.9	18.1	20.6	20.7
E	16.0	8.68	14.0	17.5	18.1	15.3
	18.0	9.92	16.7	21.2	23.0	21.5
	20.0	10.9	18.7	24.2	26.9	26.4
	22.0	11.7	20.3	26.6	30.2	30.5
	24.0	12.4	21.6	28.6	32.9	33.8
	26.0	13.0	22.8	30.3	35.1	36.7
	28.0 y mayor	13.4	23.7	31.8	37.1	39.1

(Fuente: Shigley, J., diseño en ingeniería mecánica, 2008)

## ANEXO G: PROPIEDADES DETERMINÍSTICAS DE ALGUNOS ACEROS

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

(Fuente: Shigley, J., diseño en ingeniería mecánica, 2008)

## ANEXO H: PROPIEDADES AISI D2



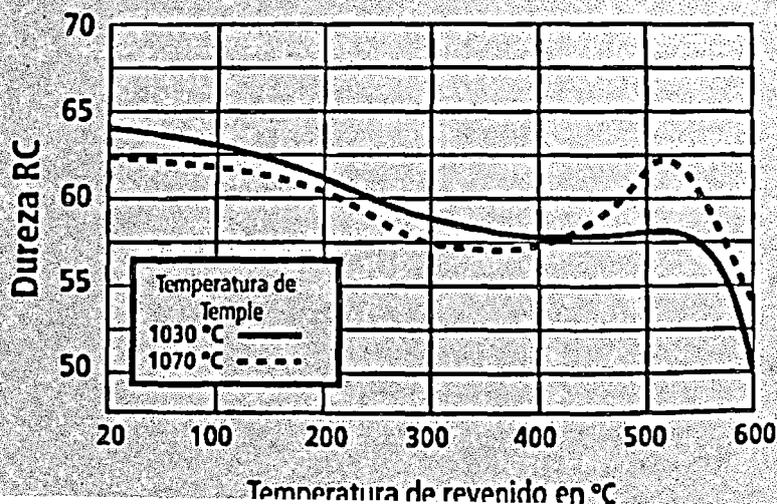
Tipo de aleación : C 1,55 Cr 11,80 Mo 0,75 V 0,50 %  
Color de identificación : Amarillo  
Estado de suministro : Recocido, dureza  $250 \leq HB$

Acero especial ledeburítico al 12% de cromo, de mínima variación dimensional, aleado al molibdeno y vanadio. Ideal en las aplicaciones donde se tienen mayores exigencias de tenacidad.

**APLICACIONES:** Matrices y punzones de corte de gran rendimiento. Herramientas para estampado. Herramientas para trabajar en madera. Cuchillas de cizalla hasta 6 mm. Herramientas para laminar roscas, para trefilación, embutición profunda y extrusión en frío. Para las industrias farmacéutica y cerámica. Rodillos de laminación, herramientas de medición, moldes pequeños de material plástico que requieren alta resistencia al desgaste.

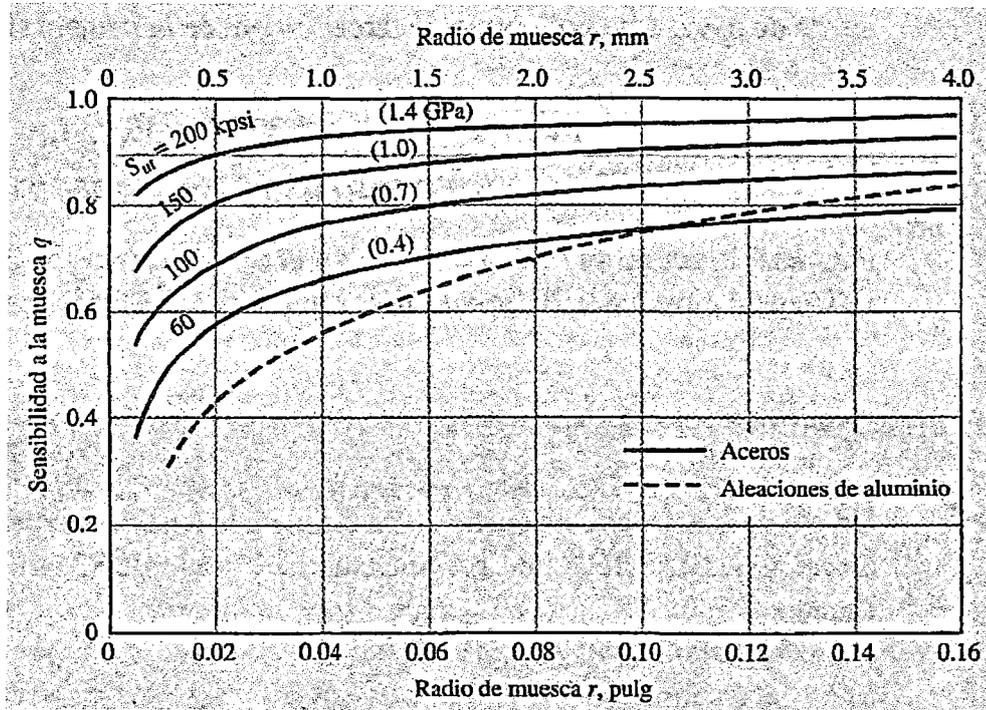
### INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO

Forjado: 1050 - 850 °C  
Recocido: 800 - 850 °C  
Temple: 1020 - 1040 °C  
Enfriamiento: Aceite, Baño de sales e incluso aire (< 25mm)  
Dureza Obtenible: 62 - 65 HRC  
Revenido: Según Diagrama



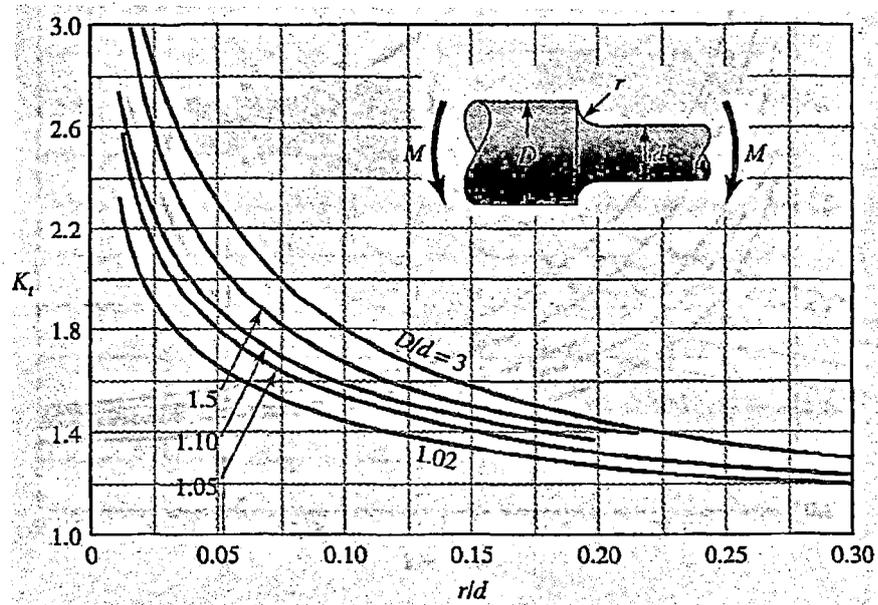
(Fuente: Manual de aceros especiales böhler, 2011.)

## ANEXO I: SENSIBILIDAD A LA MUESCA



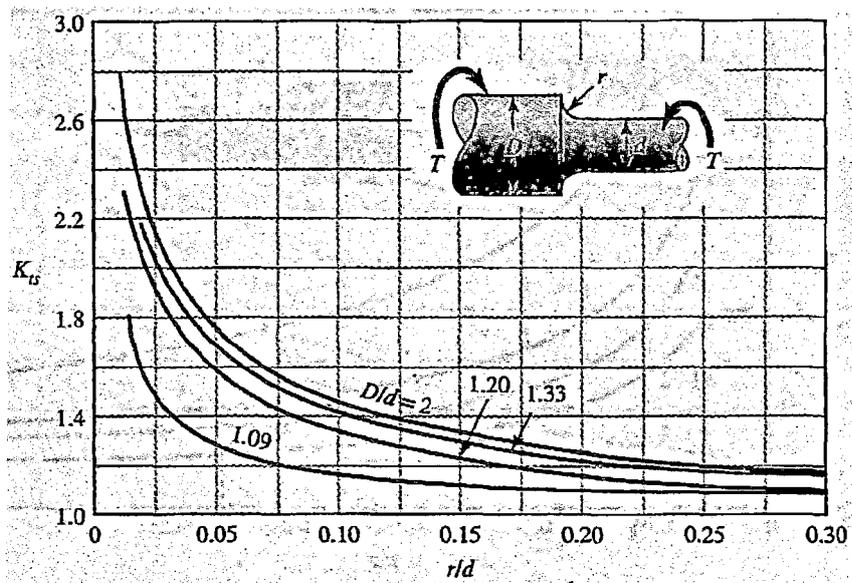
(Fuente: Shigley, J., diseño en ingeniería mecánica, 2008)

**ANEXO J: FACTOR TEÓRICO DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZO  
(FLEXIÓN)**



(Fuente: Shigley, J., diseño en ingeniería mecánica, 2008)

**ANEXO K: FACTOR TEÓRICO DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZO  
(TORSIÓN)**



(Fuente: Shigley, J., diseño en ingeniería mecánica, 2008)

**ANEXO L: DIÁMETROS Y ÁREAS DE ROSCAS MÉTRICAS DE PASO GRUESO Y FINO**

Diámetro mayor nominal $d_r$ mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso $p_r$ mm	Área de esfuerzo de tensión $A_r$ mm <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_{r, m}$ mm <sup>2</sup>	Paso $p_r$ mm	Área de esfuerzo de tensión $A_r$ mm <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_{r, m}$ mm <sup>2</sup>
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

(Fuente: Shigley, J., diseño en ingeniería mecánica, 2008)

## ANEXO M: CLASES MÉTRICAS DE PROPIEDAD MECÁNICA DE PERNOS, TORNILLOS Y BIRLOS DE ACERO

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima,† MPa	Resistencia mínima a la tensión,† MPa	Resistencia mínima a la fluencia,† MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	

(Fuente: Shigley, J., diseño en ingeniería mecánica, 2008)

## ANEXO N: FACTOR DE LA CORREA

Tipo de correa	$f_b$
Correa dentada	1.3 ~ 2
Correa tipo V	2 ~ 2.5
Correa plana con polea tensora	2.5 ~ 3
Correa plana	4 ~ 5

(Fuente: NSK, manual de rodamientos)

### ANEXO O: FACTOR DE CARGA

Condiciones de funcionamiento	Aplicaciones Típicas	$f_w$
Funcionamiento suave Libre de choques	Motores eléctricos, Máquinas-herramienta, Acondicionadores aire	1 ~ 1.2
Funcionamiento normal	Ventiladores, Compresores, Elevadores, Grúas, Maquinaria papel	1.2~1.5
Funcionamiento acompañado de choques y vibraciones	Maquinaria de construcción, Cribas, Machacadoras, Trenes de laminación	1.5~3

(Fuente: NSK, manual de rodamientos)

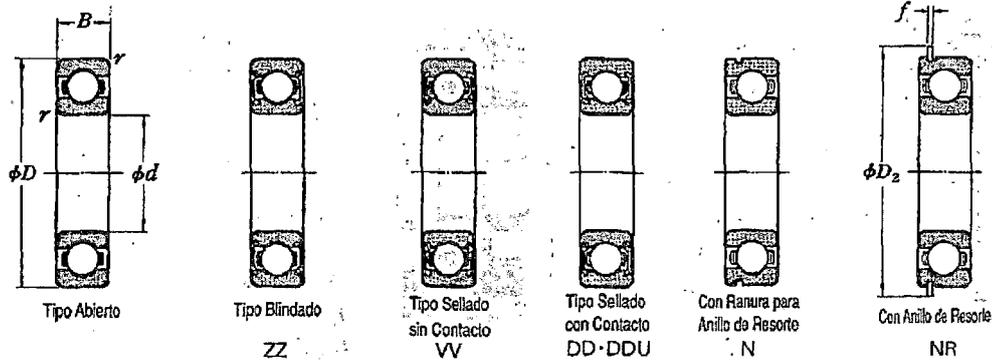
### ANEXO P: FACTOR DE FIABILIDAD

Fiabilidad %	90	95	96	97	98	99
$a_1$	1.00	0.62	0.53	0.44	0.33	0.21

(Fuente: NSK, manual de rodamientos)

## ANEXO Q: RODAMIENTOS DE UNA HILERA DE BOLAS DE RANURA PROFUNDA

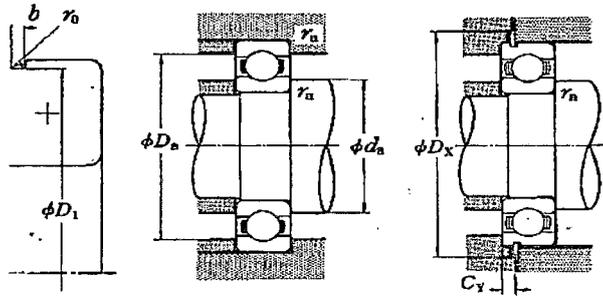
Diámetro Interior 25~45 mm



Dimensiones (mm)	Clasificación de Carga Básica (N)				Clasificación de Carga Básica (kgf)				Factor $f_0$	Velocidad Límite (rpm)			Números de Rodamiento		
	d	D	B	r min	$C_r$	$C_{0r}$	$C_r$	$C_{0r}$		Grasa		Acaite	Abierto	Blindado	Sellado
										Abierto ZZ VV	DU DDU	Abierto Z			
25	37	7	0.3	4 500	3 150	455	320	16.1	18 000	10 000	22 000	6805	ZZ	VV	DD
	42	9	0.3	7 050	4 550	715	460	15.4	16 000	10 000	19 000	6905	ZZ	VV	DDU
	47	8	0.3	8 850	5 600	905	570	15.1	15 000	—	18 000	16005	—	—	—
28	47	12	0.6	10 100	5 850	1 030	595	14.5	15 000	9 500	18 000	6005	ZZ	VV	DDU
	52	15	1.1	14 000	7 850	1 430	900	13.9	13 000	9 000	15 000	6205	ZZ	VV	DDU
	62	17	1.1	20 600	11 200	2 100	1 150	13.2	11 000	8 000	13 000	6305	ZZ	VV	DDU
30	52	12	0.6	12 500	7 400	1 270	755	14.5	14 000	8 500	16 000	60/28	ZZ	VV	DDU
	58	16	1.1	16 600	9 500	1 700	970	13.9	12 000	8 000	14 000	62/28	ZZ	VV	DDU
	68	18	1.1	26 700	14 000	2 730	1 430	12.4	10 000	7 500	13 000	63/28	ZZ	VV	DDU
32	42	7	0.3	4 700	3 650	480	370	16.4	15 000	9 000	18 000	6806	ZZ	VV	DD
	47	9	0.3	7 250	5 000	740	510	15.8	14 000	8 500	17 000	6906	ZZ	VV	DDU
	55	9	0.3	11 200	7 350	1 150	750	15.2	13 000	—	15 000	16006	—	—	—
35	55	13	1	13 200	8 300	1 350	845	14.7	13 000	8 000	15 000	6006	ZZ	VV	DDU
	62	16	1.1	19 500	11 300	1 980	1 150	13.8	11 000	7 500	13 000	6206	ZZ	VV	DDU
	72	19	1.1	26 700	15 000	2 720	1 530	13.3	9 500	6 700	12 000	6306	ZZ	VV	DDU
40	58	13	1	15 100	9 150	1 530	935	14.5	12 000	7 500	14 000	60/32	ZZ	VV	DDU
	65	17	1.1	20 700	11 600	2 120	1 190	13.8	10 000	7 100	12 000	62/32	ZZ	VV	DDU
	75	20	1.1	29 900	17 000	3 050	1 730	13.2	9 000	6 300	11 000	63/32	ZZ	VV	DDU
45	47	7	0.3	4 900	4 100	500	420	16.7	14 000	7 500	16 000	6807	ZZ	VV	DD
	55	10	0.6	10 600	7 250	1 080	740	15.5	12 000	7 500	15 000	6907	ZZ	VV	DDU
	62	9	0.3	11 700	8 200	1 190	835	15.6	11 000	—	13 000	16007	—	—	—
50	62	14	1	16 000	10 300	1 630	1 050	14.8	11 000	6 700	13 000	6007	ZZ	VV	DDU
	72	17	1.1	25 700	15 300	2 620	1 580	13.8	9 500	6 300	11 000	6207	ZZ	VV	DDU
	80	21	1.5	33 500	19 200	3 400	1 960	13.2	8 500	6 000	10 000	6307	ZZ	VV	DDU
55	52	7	0.3	4 900	4 350	500	445	17.0	12 000	6 700	14 000	6808	ZZ	VV	DD
	62	12	0.6	13 700	10 000	1 390	1 020	15.7	11 000	6 300	13 000	6908	ZZ	VV	DDU
	68	9	0.3	12 600	9 650	1 290	955	16.0	10 000	—	12 000	16008	—	—	—
60	68	15	1	16 800	11 500	1 710	1 180	15.3	10 000	6 000	12 000	6008	ZZ	VV	DDU
	80	18	1.1	29 100	17 900	2 970	1 820	14.0	9 500	5 600	10 000	6208	ZZ	VV	DDU
	90	23	1.5	40 500	24 000	4 150	2 450	13.2	7 500	5 300	9 000	6308	ZZ	VV	DDU
65	58	7	0.3	5 350	5 250	550	535	17.2	11 000	6 000	13 000	6809	ZZ	VV	DD
	68	12	0.6	14 100	10 900	1 440	1 110	15.9	9 500	5 600	12 000	6909	ZZ	VV	DDU
	75	10	0.6	14 900	11 400	1 520	1 160	15.9	9 000	—	11 000	16009	—	—	—
70	75	16	1	20 900	15 200	2 140	1 550	15.3	9 000	5 300	11 000	6009	ZZ	VV	DDU
	85	19	1.1	31 500	20 400	3 200	2 080	14.4	7 500	5 300	9 000	6209	ZZ	VV	DDU
	100	25	1.5	53 000	32 000	5 400	3 250	13.1	6 700	4 800	8 000	6309	ZZ	VV	DDU

(Fuente: NSK, manual de rodamientos)

## ANEXO Q.1: RODAMIENTOS DE UNA HILERA DE BOLAS DE RANURA PROFUNDA



Carga Dinámica Equivalente  
 $P = X F_r + Y F_a$

$f_0 \frac{F_a}{C_{or}}$	$e'$	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
		X	Y	X	Y
0.172	0.19	1	0	0.56	2.30
0.345	0.22	1	0	0.56	1.99
0.689	0.26	1	0	0.56	1.71
1.03	0.28	1	0	0.56	1.55
1.38	0.30	1	0	0.56	1.45
2.07	0.34	1	0	0.56	1.31
3.45	0.38	1	0	0.56	1.15
5.17	0.42	1	0	0.56	1.04
6.89	0.44	1	0	0.56	1.00

Carga Estática Equivalente

$\frac{F_a}{F_r} > 0.8, P_0 = 0.6 F_r + 0.5 F_a$

$\frac{F_a}{F_r} \leq 0.8, P_0 = F_r$

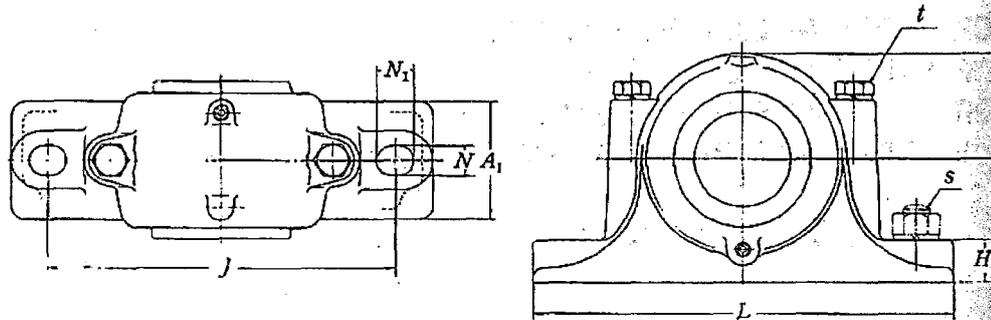
Con Anillo de Pasta	Dimensiones de la Ranura (1) (mm)					Dimensiones del Anillo (1) (mm)		Dimensiones de Tapa y Chiflón (mm)					Masa (kg.) aprox.
	a	b	D <sub>1</sub>	r <sub>0</sub>	r <sub>N</sub>	D <sub>2</sub>	f	d <sub>a</sub> <sup>(2)</sup>	D <sub>a</sub> <sup>(2)</sup>	r <sub>a</sub>	D <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	
	max	min	max	max	min	max	max	min	max	max	min	max	
NR	1.3	0.95	35.7	0.25	0.3	39.8	0.85	27	27	35	0.3	40.5	1.8
NR	1.7	0.95	40.7	0.25	0.3	44.8	0.85	27	28.5	40	0.3	45.5	2.3
								27		45	0.3		
NR	2.08	1.35	44.6	0.4	0.5	52.7	1.12	29	30	43	0.6	53.6	2.9
NR	2.46	1.35	49.73	0.4	0.5	57.9	1.12	30	32	47	1	58.5	3.3
NR	3.28	1.9	59.61	0.6	0.5	67.7	1.7	31.5	36	55.5	1	68.5	4.6
NR	2.08	1.35	49.73	0.4	0.5	57.9	1.12	32	34	48	0.6	58.5	2.9
NR	2.46	1.35	55.6	0.4	0.5	63.7	1.12	33	35.5	53	1	64.5	3.3
NR	3.28	1.9	64.82	0.6	0.5	74.6	1.7	34.5	38	61.5	1	76	4.6
NR	1.3	0.95	40.7	0.25	0.3	44.8	0.85	32	32	40	0.3	45.5	1.8
NR	1.7	0.95	45.7	0.25	0.3	49.8	0.85	32	34	45	0.3	50.5	2.3
								32		53	0.3		
NR	2.08	1.35	52.6	0.4	0.5	60.7	1.12	35	36.5	50	1	61.5	2.9
NR	3.28	1.9	59.61	0.6	0.5	67.7	1.7	35	38.5	57	1	68.5	4.6
NR	3.28	1.9	68.81	0.6	0.5	76.6	1.7	36.5	42.5	65.5	1	80	4.6
NR	2.08	1.35	55.6	0.4	0.5	63.7	1.12	37	38.5	53	1	64.5	2.9
NR	3.28	1.9	62.6	0.6	0.5	70.7	1.7	37	40	60	1	71.5	4.6
NR	3.28	1.9	71.83	0.6	0.5	81.6	1.7	38.5	44.5	68.5	1	83	4.6
NR	1.3	0.95	45.7	0.25	0.3	49.8	0.85	37	37	45	0.3	50.5	1.8
NR	1.7	0.95	53.7	0.25	0.5	57.8	0.85	39	39	61	0.6	58.5	2.3
								37		60	0.3		
NR	2.08	1.9	59.61	0.6	0.5	67.7	1.7	40	41.5	57	1	68.5	3.4
NR	3.28	1.9	68.81	0.6	0.5	76.6	1.7	41.5	44.5	65.5	1	80	4.6
NR	3.28	1.9	76.81	0.6	0.5	86.6	1.7	43	47	72	1.5	88	4.6
NR	1.3	0.95	50.7	0.25	0.3	54.8	0.85	42	42	50	0.3	55.5	1.8
NR	1.7	0.95	60.7	0.25	0.5	64.8	0.85	44	46	58	0.6	65.5	2.3
								42		66	0.3		
NR	2.49	1.9	64.82	0.6	0.5	74.6	1.7	45	47.5	63	1	76	3.8
NR	3.28	1.9	76.81	0.6	0.5	86.6	1.7	46.5	50.5	73.5	1	88	4.6
NR	3.28	2.7	86.79	0.6	0.5	96.5	2.46	48	53	82	1.5	93	5.4
NR	1.3	0.95	56.7	0.25	0.3	60.8	0.85	47	47.5	56	0.3	61.5	1.8
NR	1.7	0.95	66.7	0.25	0.5	70.8	0.85	49	50	64	0.6	72	2.3
								49		71	0.6		
NR	2.49	1.9	71.83	0.6	0.5	81.6	1.7	60	53.5	70	1	83	3.8
NR	3.28	1.9	81.81	0.6	0.5	91.6	1.7	51.5	55.5	78.5	1	93	4.6
NR	3.28	2.7	96.8	0.6	0.5	106.5	2.46	53	61.5	92	1.5	108	5.4

(Fuente: NSK, manual de rodamientos)

## ANEXO R: SOPORTES PARA RODAMIENTOS (CHUMACERAS)

Tipos SN 5, SN 6

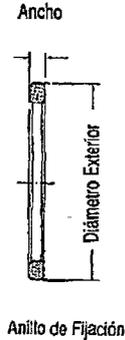
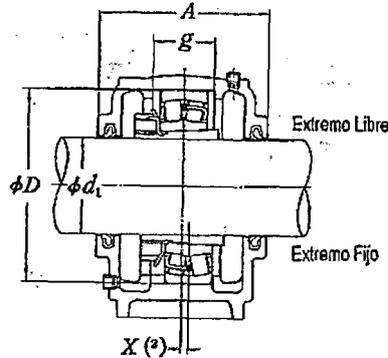
Diámetro del Eje 20-55 mm



Diámetro del Eje (mm) $d_1$	Números de Soporte (f)	Dimensiones (mm)													
		D H8	H h13	J	N	N <sub>1</sub>	A	L	A <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	g H13	t Nominal	s Nominal	
20	SN 505	52	40	130	15	20	67	165	46	22	75	25	M 8	M 12	
	SN 605	62	50	150	15	20	80	185	52	22	90	34	M 8	M 12	
25	SN 506	62	50	150	15	20	77	185	52	22	90	30	M 8	M 12	
	SN 606	72	50	150	15	20	82	185	52	22	95	37	M 10	M 12	
30	SN 507	72	50	150	15	20	82	185	52	22	95	33	M 10	M 12	
	SN 607	80	60	170	15	20	90	205	60	25	110	41	M 10	M 12	
35	SN 508	80	60	170	15	20	85	205	60	25	110	33	M 10	M 12	
	SN 608	90	60	170	15	20	95	205	60	25	115	43	M 10	M 12	
40	SN 509	85	60	170	15	20	85	205	60	25	112	31	M 10	M 12	
	SN 609	100	70	210	18	23	105	255	70	28	130	46	M 12	M 16	
45	SN 510	90	60	170	15	20	90	205	60	25	115	33	M 10	M 12	
	SN 610	110	70	210	18	23	115	255	70	30	135	50	M 12	M 16	
50	SN 511	100	70	210	18	23	95	255	70	28	130	33	M 12	M 16	
	SN 611	120	80	230	18	23	120	275	80	30	150	53	M 12	M 16	
55	SN 512	110	70	210	18	23	105	255	70	30	135	38	M 12	M 16	
	SN 612	130	80	230	18	23	125	280	80	30	155	56	M 12	M 16	

(Fuente: NSK, manual de rodamientos)

## ANEXO R.1: SOPORTES PARA RODAMIENTOS (CHUMACERAS)



Rodamientos de Bolas Autoalineantes		Piezas Aplicables			Anillos de Fijación		Sellados de Aceite (3)
Números	Clasificación de Carga Básica Dinámica C (N)	Números	Clasificación de Carga Básica Dinámica C (N)	Manguito Números	Nominal (Diámetro Ext. x Ancho)	Cantidad	
1205 K	12 200	—	—	H 205X	SR 52x 5	2	GS 5
2205 K	12 400	22205 HK	44 000	H 305X	SR 52x 7	1	
1305 K	18 200	21305 CDK	43 000	H 305X	SR 62x 8.5	2	
2305 K	24 900	—	—	H 2305X	SR 62x 10	1	
1206 K	15 800	—	—	H 206X	SR 62x 7	2	GS 6
2206 K	15 300	22206 HK	58 500	H 306X	SR 62x 10	1	
1306 K	21 400	21306 CDK	55 000	H 306X	SR 72x 9	2	
2306 K	32 000	—	—	H 2306X	SR 72x 10	1	
1207 K	15 900	—	—	H 207X	SR 72x 8	2	GS 7
2207 K	21 700	22207 HK	78 500	H 307X	SR 72x 10	1	
1307 K	25 300	21307 CDK	71 500	H 307X	SR 80x 10	2	
2307 K	40 000	—	—	H 2307X	SR 80x 10	1	
1208 K	19 300	—	—	H 208X	SR 80x 7.5	2	GS 8
2208 K	22 400	22208 HK	89 500	H 308X	SR 80x 10	1	
1308 K	29 800	21308 CDK	87 500	H 308X	SR 90x 10	2	
2308 K	45 500	22308 HK	135 000	H 2308X	SR 90x 10	1	
1209 K	22 000	—	—	H 209X	SR 85x 6	2	GS 9
2209 K	23 300	22209 HK	95 000	H 309X	SR 85x 8	1	
1309 K	38 500	21309 CDK	103 000	H 309X	SR 100x 10.5	2	
2309 K	55 000	22309 HK	160 000	H 2309X	SR 100x 10	1	
1210 K	22 800	—	—	H 210X	SR 90x 6.5	2	GS 10
2210 K	23 400	22210 HK	99 500	H 310X	SR 90x 10	1	
1310 K	43 500	21310 CDK	118 000	H 310X	SR 110x 11.5	2	
2310 K	65 000	22310 HK	197 000	H 2310X	SR 110x 10	1	
1211 K	26 900	—	—	H 211X	SR 100x 6	2	GS 11
2211 K	26 700	22211 HK	122 000	H 311X	SR 100x 8	1	
1311 K	51 500	21311 CDK	140 000	H 311X	SR 120x 12	2	
2311 K	76 500	22311 HK	226 000	H 2311X	SR 120x 10	1	
1212 K	30 500	—	—	H 212X	SR 110x 8	2	GS 12
2212 K	34 000	22212 HK	150 000	H 312X	SR 110x 10	1	
1312 K	57 500	21312 CDK	163 000	H 312X	SR 130x 12.5	2	
2312 K	88 500	22312 HK	265 000	H 2312X	SR 130x 10	1	

(Fuente: NSK, manual de rodamientos)

## ANEXO S: DIMENSIONES DE ALGUNAS CHAVETAS CUADRADAS Y RECTANGULARES

Diámetro del eje		Tamaño de la cuña		Profundidad del cuñero
Más de	Hasta (inclusive)	w	h	
$\frac{5}{16}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
		$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
		$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
		$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{32}$
$1\frac{3}{8}$	$1\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
$2\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$
		$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{16}$
$2\frac{3}{4}$	$3\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
		$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$

(Fuente: Shigley, J., diseño en ingeniería mecánica, 2008)

## ANEXO T: PROPIEDADES DEL ASTM A-36

 A 36/A 36M

**TABLE 3 Tensile Requirements<sup>a</sup>**

<b>Plates, Shapes,<sup>b</sup> and Bars:</b>	
Tensile strength, ksi [MPa]	58-80 [400-550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] <sup>c</sup>
<b>Plates and Bars<sup>d,e</sup>:</b>	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
<b>Shapes:</b>	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 <sup>d</sup>

<sup>a</sup> See the Orientation subsection in the Tension Tests section of Specification A 36/A 36M.

<sup>b</sup> For wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 % applies.

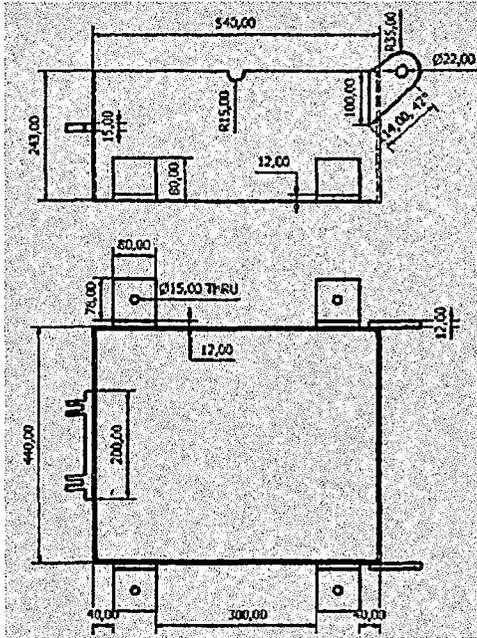
<sup>c</sup> Yield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.

<sup>d</sup> Elongation not required to be determined for floor plate.

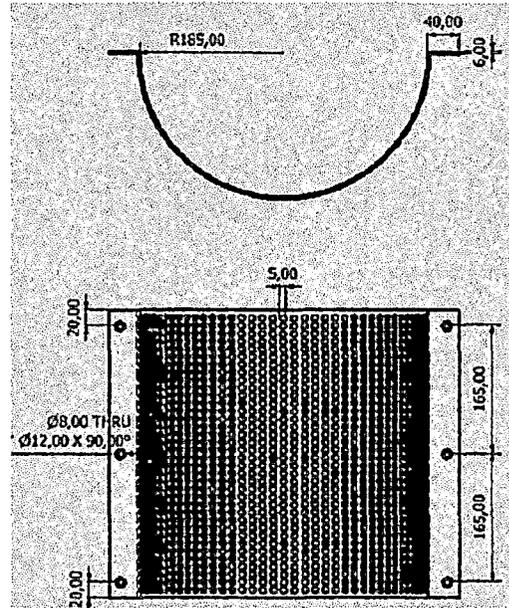
<sup>e</sup> For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See the Elongation Requirement Adjustments subsection under the Tension Tests section of Specification A 36/A 36M.

**(Fuente: ASTM A 36)**

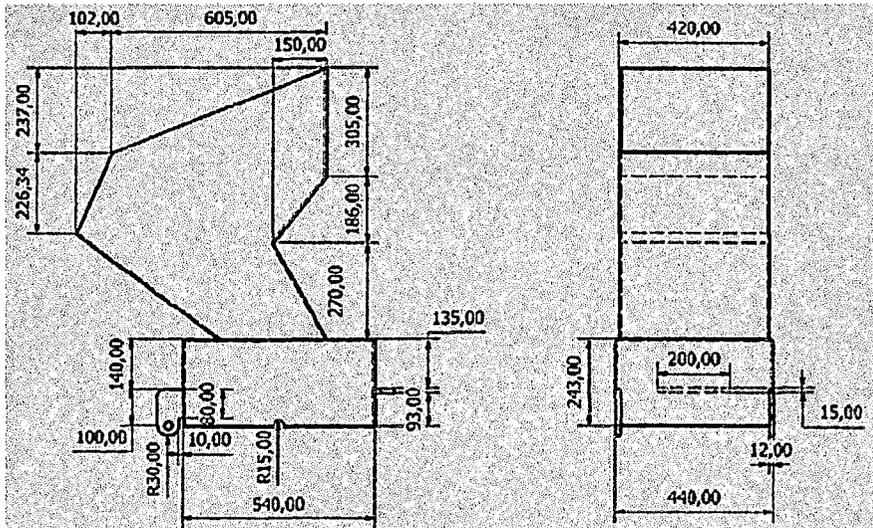
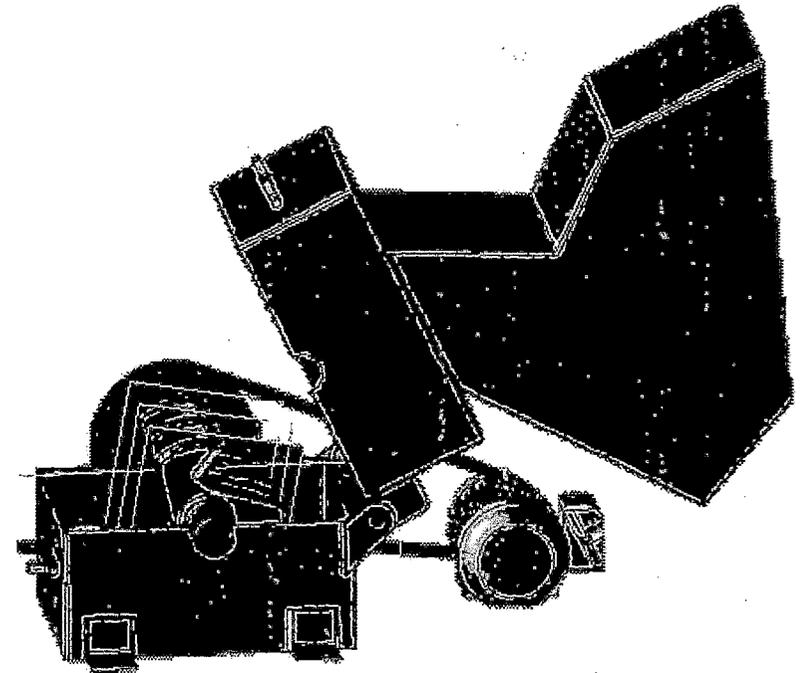
## **ANEXO U: PLANOS**



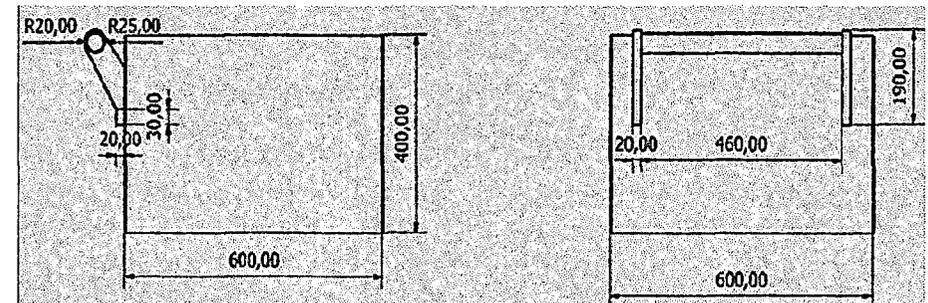
CARCASA



CRIBA

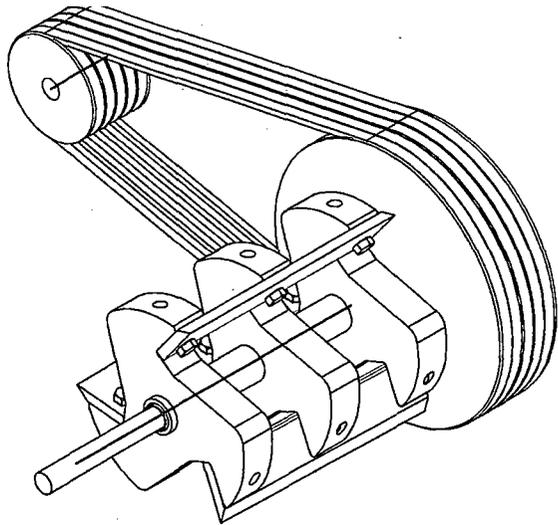


TOLVA DE ALIMENTACIÓN

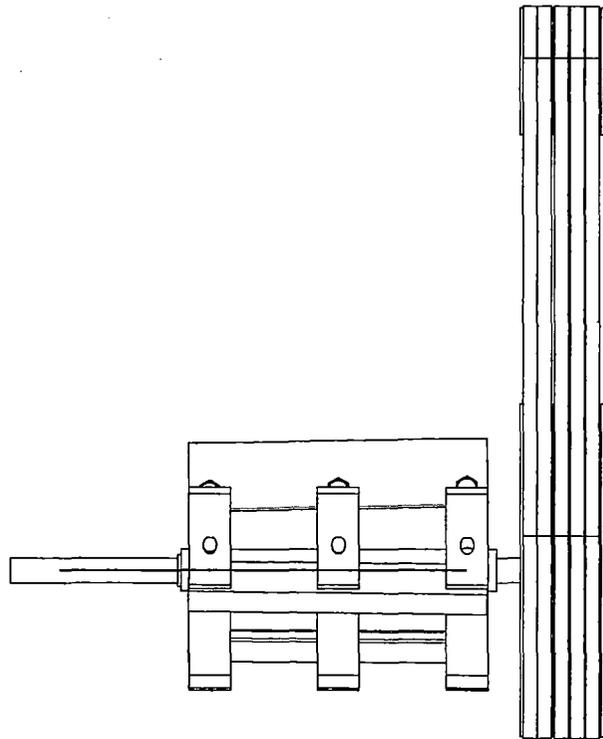


DEPOSITO

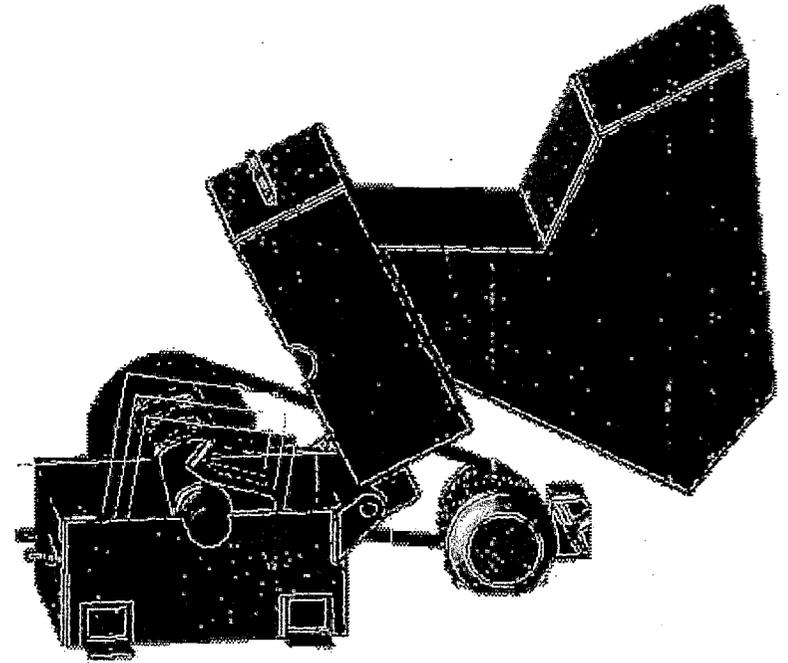
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO	AUTOR: JOSÉ LUIS MILLONES HERNÁNDEZ	
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA-ENERGÍA	TÍTULO: S/E	
MOLINO DE CUCHILLAS PARA HDPE	FECHA: AGOSTO 2014	IDENTIFICACION: CT-1



SISTEMA DE TRANSMISION - ISOMETRICO



SISTEMA DE TRANSMISION - PLANTA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA-ENERGIA

ALUMNO: JOSÉ LUIS MELLONES HERNÁNDEZ

SECCION: S/E

GRUPO:

MOLINO DE CUCHILLAS PARA HDPE

FECHA: AGOSTO 2014

CT-2